

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Havarijní zálohování uzlových oblastí 110kV distribuční soustavy ČEZ
Distribuce, a.s. v oblasti Morava

Emergency Back up of Node Areas of Distribution Network ČEZ
Distribuce, a.s. in Morava

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radim Jílek**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: Havarijní zálohování uzlových oblastí 110kV distribuční soustavy ČEZ
Distribuce, a.s. v oblasti Morava
Emergency Back up of Node Areas of Distribution Network ČEZ
Distribuce, a.s. in Morava

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor distribučních sítí
2. Současný stav sítí 110 kV ČEZu oblast Morava
3. Výpočtový SW Daisy
4. Problematika havarijního zálohování
5. Stanovení provozních podmínek pro havarijní zálohování
6. Vytvoření modelů pro havarijní zálohování při výpadků konkrétních uzlů PS
7. Vyhodnocení výpočtů a stanovení konkrétních závěrů

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hradílek Z. : Elektroenergetika, skripta VŠB Ostrava 1992
2. Santarius P. : Elektrické stanice a vedení, skripta VŠB Ostrava 1990
3. Dokumentace ČEZ Distribuce, a.s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 27. dubna 2012

Bodina Jilka
.....
podpis

Děkuji vedoucímu diplomového projektu Prof. Ing. Stanislavu Ruskovi, CSc. a konzultantovi Ing. Jiřímu Šoltysovi za rady a připomínky, které mi poskytovali při práci na diplomovém úkolu.

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na teoretický rozbor distribučních sítí a elektrických stanic, které se používají zejména pro rozvodny na napěťové hladině 110 kV. Je zde popsán také současný stav sítí 110 kV ČEZu v oblasti Morava a uvedeny rozvodny v této oblasti. Jsou vytvořeny modely sítí v programu SW Daisy jak pro ustálený stav, tak i pro havarijní zálohování při výpadku jednoho přenosového transformátoru nebo celé přenosové soustavy. Pro havarijní zálohování jsou v práci popsány předpoklady pro návrh možností náhradního napájení postižené části distribuční sítě 110 kV. U každé uzlové oblasti (rozvodny) 110 kV je popis stávajícího stavu i popis stavu při havarijním zálohování. U každého modelu je proveden popis manipulací s vypínači při přepojování vedení a přípojníc a jsou vyhodnoceny výsledky zapojení.

Klíčová slova

Distribuční síť, elektrická stanice, havarijní zálohování, odpojovač, výkonový vypínač, přípojnice, vedení

Abstract

This thesis focuses on the theoretical analysis of the distribution network and substations which are mainly used for substation at voltage level 110 kV. The thesis also describes current state of the CEZ 110 kV network in the region of Moravia as well as the substations in this area. Network models are created in the application SW Daisy both for a normal state and for emergency backup in case of power failure of one transmission transformer or the whole of transmission network. Requirements for suggestion of alternative supply of the affected part of distributor network 110 kV are described for emergency backup. Description of the current state and description of emergency backup is for the every node area (substation). Each model is provided with a description of the manipulation with switches at switch of power lines and bus bars. The results of involvement and results of connection are evaluated.

Key words

Distribution network, substation, emergency backup, isolator switch, power switch, bus bar, power line

Seznam některých použitých symbolů a zkratk:

Značka	Název veličiny	Jednotka	
		hlavní	vedlejší
a	strana čtverce zásobované oblasti	(m)	(km)
F	zásobovaná plocha	(m ²)	(km ²)
I_{max}	maximální proud	(A)	(kA)
I_n	jmenovitý proud	(A)	(kA)
J	Jakobián – matice parciálních derivací		
m_T	počet mříží napájených jedním transformátorem		
N	počet čtverců		
n	počet uzlů		
P	činný výkon	(W)	(kW), (MW)
P_{inst}	instalovaný výkon	(W)	(kW), (MW)
P_{vyr}	vyrobený výkon	(W)	(kW), (MW)
Q	jalový výkon	(var)	(kvar), (Mvar)
$s\%$	procentuální zatížení transformátorů		(%)
S_n	zdánlivý výkon	(VA)	(kVA), (MVA)
U	napětí	(V)	(kV)
U_n	jmenovité napětí	(V)	(kV)
v	počet větví		
v_n	počet větví nepatřící úplného stromu		
v_z	počet větví úplného stromu		
x	přesná hodnota kořenu		
$x^{(0)}$	kořen při nulté iteraci		
y	zadaná hodnota pravé strany		
$y^{(0)}$	hodnota pravé strany určená dosazením odhadu kořenů		
δ	úhel napětí	(°)	
$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right _0$	hodnota parciální derivace v bodě $x^{(0)}$		
Δx	rozdíl mezi odhadem a přesnou hodnotou		
$\Delta y^{(0)}$	rozdíl mezi zadanou a přesnou hodnotou pravé strany funkce zahrnující členy s vyššími mocninami a druhé a vyšší derivace funkce		
ϕ			
σ	hustota zatížení	(W.m ⁻²)	(MW.km ⁻²)

ALB	Rozvodna Albrechtice
BIOC	Rozvodna Biocel
BOHP	Rozvodna Bohumín - Pudlov
BRID	Rozvodna Břidličná
CERV	Rozvodna Červenka
CEVE	Rozvodna Česká Ves
CSAR	Rozvodna ČSA Armáda
ČEZ	České energetické závody
DEZA	Rozvodna DEZA
DLUH	Rozvodna Dluhonice
DLZY	Rozvodna Důl Lazy
DOUV	Rozvodna Doubrava
ELDE	Elektrárna Dětmarovice
EON	Energetická distribuční společnost

ETBE	Rozvodna Třebovice
HDLN	Rozvodna Hodolany
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HRNE	Rozvodna Hranice
HULN	Rozvodna Hulín
HZI	Rozvodna Horní Životice
CHRO	Rozvodna Chropyně
KRA	Rozvodna Krasíkov
KRNV	Rozvodna Krnov
LIS	Rozvodna Lískovec
MART	Rozvodna Martinov
nn	Nízké napětí
NOS	Rozvodna Nošovice
OLCS	Rozvodna Olomouc - Sever
PRJV	Rozvodna Prostějov
PRN	Rozvodna Prosenice
PRST	Rozvodna Přerovské strojírny
PS	Přenosová soustava
RAJK	Rozvodna Ráječek
REAS	Regionální energetická akciová společnost
ROPC	Rozvodna Ropice
RZNV	Rozvodna Rožnov
T101, T102, T103	Transformátor 110/22 kV
T201, T202, T203, T204	Transformátor 220/110 kV
T401, T402, T403	Transformátor 400/110 kV
TG	Turbogenerátor
TKV	Teplárna Karviná
TRZ2	Rozvodna Třinecké Železárny 2
V _h	Výkonový vypínač
VMEZ	Rozvodna Valašské Meziříčí
vn	Vysoké napětí
V _p	Pomocný výkonový vypínač
VRAT	Rozvodna Vratimov
VSTN	Rozvodna Vsetín
vvn	Velmi vysoké napětí
V _z	Záložní výkonový vypínač
W1, A	Hlavní přípojnice č. 1
W2, B	Hlavní přípojnice č. 2
W3, C	Hlavní přípojnice č. 3
W5, P	Pomocná přípojnice
zvn	Zvlášť vysoké napětí

Obsah:

1. ÚVOD	1
2. TEORETICKÝ ROZBOR DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ.....	2
2.1. DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY	2
2.1.1. <i>Sítě paprskové radiální.....</i>	<i>2</i>
2.1.2. <i>Sítě okružní</i>	<i>3</i>
2.1.3. <i>Mřížové sítě</i>	<i>3</i>
2.2. ELEKTRICKÉ STANICE.....	6
2.2.1. <i>Členění elektrických stanic</i>	<i>6</i>
2.2.2. <i>Hlavní části elektrických stanic</i>	<i>7</i>
2.2.3. <i>Schémat elektrických stanic.....</i>	<i>7</i>
2.2.4. <i>Schémat elektrických stanic podle systému přípojníc</i>	<i>9</i>
2.2.5. <i>Schémat elektrických stanic 110 kV</i>	<i>12</i>
3. SOUČASNÝ STAV SÍTÍ 110 KV ČEZU OBLAST MORAVA.....	16
3.1. ROZVODNA HORNÍ ŽIVOTICE.....	18
3.2. ROZVODNA ALBRECHTICE.....	18
3.3. ROZVODNA KRASÍKOV	18
3.4. ROZVODNA PROSENICE	19
3.5. ROZVODNA LÍSKOVEC.....	19
3.6. ROZVODNA NOŠOVICE	19
4. VÝPOČTOVÝ SW DAISY.....	20
4.1. MODEL SOUSTAVY DISTRIBUČNÍ SÍTĚ 110 kV	20
4.2. PROGRAM PAS DAISY	20
4.2.1. <i>PAS Daisy On-Line</i>	<i>20</i>
4.2.2. <i>PAS Daisy Off-Line.....</i>	<i>21</i>
4.2.3. <i>Parametry objektů.....</i>	<i>21</i>
4.3. NEWTON – RAPHSONOVA ITERAČNÍ METODA	22
5. PROBLEMATIKA HAVARIJNÍHO ZÁLOHOVÁNÍ	25
5.1. UZLOVÉ SÍTĚ V BEZPORUCHOVÉM USTÁLENÉM STAVU.....	25
5.2. UZLOVÉ SÍTĚ PŘI HAVARIJNÍM ZAPOJENÍ V USTÁLENÉM STAVU	26
6. STANOVENÍ PROVOZNÍCH PODMÍNEK PRO HAVARIJNÍ ZÁLOHOVÁNÍ	27
6.1. PROVOZ ELEKTRIZAČNÍCH SOUSTAV	27
6.2. PŘEDPOKLADY PRO NÁVRH A VYHODNOCENÍ MODELŮ HAVARIJNÍHO ZÁLOHOVÁNÍ.....	27
6.3. PŘEHLED PŘENOSOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ	28
6.4. BILANCE VÝKONŮ VÝROBEN NAD 10 MW	30
7. VYTVOŘENÍ MODELŮ PRO HAVARIJNÍ ZÁLOHOVÁNÍ PŘI VÝPADKU KONKRÉTNÍCH UZLŮ PS, VYHODNOCENÍ VÝPOČTŮ A STANOVENÍ KONKRÉTNÍCH ZÁVĚRŮ	31
7.1. VÝPADEK ROZVODNY HORNÍ ŽIVOTICE	31
7.1.1. <i>Výpadek transformátoru T401</i>	<i>31</i>
7.1.2. <i>Výpadek transformátoru T402.....</i>	<i>32</i>
7.1.3. <i>Výpadek přenosové soustavy v oblasti HZI</i>	<i>32</i>
7.1.4. <i>Vyhodnocení modelů havarijního zálohování.....</i>	<i>34</i>
7.2. VÝPADEK ROZVODNY ALBRECHTICE	37
7.2.1. <i>Výpadek transformátoru T401</i>	<i>38</i>
7.2.2. <i>Výpadek transformátoru T402</i>	<i>38</i>

7.2.3.	<i>Výpadek přenosové soustavy v oblasti ALB.....</i>	<i>39</i>
7.2.4.	<i>Vyhodnocení modelů havarijního zálohování.....</i>	<i>40</i>
7.3.	VÝPADEK ROZVODNY KRASÍKOV.....	41
7.3.1.	<i>Výpadek transformátoru T401.....</i>	<i>42</i>
7.3.2.	<i>Výpadek transformátoru T402.....</i>	<i>42</i>
7.3.3.	<i>Výpadek přenosové soustavy v oblasti KRA.....</i>	<i>42</i>
7.3.4.	<i>Vyhodnocení modelů havarijního zálohování.....</i>	<i>43</i>
7.4.	VÝPADEK ROZVODNY PROSENICE.....	44
7.4.1.	<i>Výpadek transformátoru T201.....</i>	<i>46</i>
7.4.2.	<i>Výpadek transformátoru T202.....</i>	<i>46</i>
7.4.3.	<i>Výpadek přenosové soustavy v oblasti PRN.....</i>	<i>47</i>
7.4.4.	<i>Vyhodnocení modelů havarijního zálohování.....</i>	<i>48</i>
7.5.	VÝPADEK ROZVODNY LÍSKOVEC.....	49
7.5.1.	<i>Výpadek transformátoru T202.....</i>	<i>50</i>
7.5.2.	<i>Výpadek transformátoru T203.....</i>	<i>51</i>
7.5.3.	<i>Výpadek transformátoru T204.....</i>	<i>51</i>
7.5.4.	<i>Výpadek přenosové soustavy v oblasti LIS.....</i>	<i>51</i>
7.5.5.	<i>Vyhodnocení modelů havarijního zálohování.....</i>	<i>52</i>
7.6.	VÝPADEK ROZVODNY NOŠOVICE.....	53
7.6.1.	<i>Výpadek transformátoru T401.....</i>	<i>54</i>
7.6.2.	<i>Výpadek transformátoru T402.....</i>	<i>54</i>
7.6.3.	<i>Výpadek přenosové soustavy v oblasti NOS.....</i>	<i>54</i>
7.6.4.	<i>Vyhodnocení modelů havarijního zálohování.....</i>	<i>56</i>
8.	ZÁVĚR.....	58
	POUŽITÁ LITERATURA.....	59
	PŘÍLOHY.....	60

1. Úvod

V diplomové práci je popsán teoretický rozbor distribučních sítí. Podrobněji je popsáno provedení distribučních soustav na všech napěťových hladinách, jejich návrh a jištění. Dále jsou rozebrány elektrické stanice, které se používají zejména pro rozvodny na napěťové hladině 110 kV. U elektrických stanic je podrobněji popsáno jejich členění, hlavní části a schémata elektrických stanic podle systému přípojníc.

V další části diplomové práce je popsán současný stav sítí 110 kV ČEZu oblast Morava. Je uveden například počet odběrných míst, zásobována oblast, délka vedení, počet stanic atd. Je zde také uveden přehled přenosových transformátorů, které jsou v rozvodnách 110 kV. Rozvodny 400/110 kV a 220/110 kV jsou zobrazeny v mapě České republiky.

Modely sítí jsou řešeny ve výpočtovém programu SW Daisy. Tento program pracuje na principu Newton – Raphsonovy iterační metody, jejíž princip je v textu popsán.

V práci jsou uvedeny základní pojmy pro uzlové sítě v bezporuchovém stavu a také podmínky pro uzlové sítě při havarijním provozování. Pokud je síť provozována při havarijním zapojení, jedná se také o ustálený chod této sítě, ale není splněna podmínka n-1.

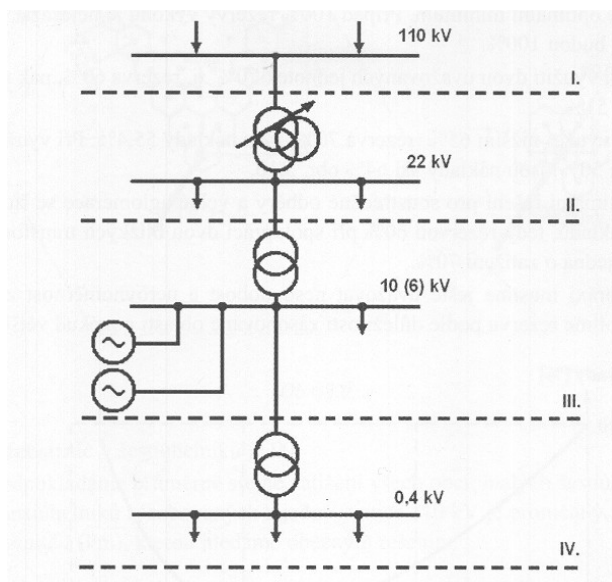
V další kapitole jsou popsány elektrizační soustavy a jejich úkoly, jako jsou například práce s vysokou účinností, zajištění spolehlivé dodávky elektrické energie, zajištění bezpečnosti osob atd. Následně jsou popsány předpoklady pro návrh možností náhradního napájení postižené části distribuční sítě 110 kV. Příklady těchto možností jsou standardní výpomocné dodávky ze sousedních REAS, přeshraniční dodávky na úrovni vvn, přerušení dodávky do sousedních REAS a přerušení přeshraničních dodávek na úrovni vvn, kritérium n-1 nemusí být vždy splněno atd.

Hlavním cílem této diplomové práce je vytvoření modelů pro havarijní zálohování jednotlivých uzlových oblastí v programu SW Daisy. U každé uzlové oblasti je popis stávajícího stavu sítě a orientační schéma napájené oblasti. Vždy je uvažováno, že vypadne buď jeden z přenosových transformátorů 400/110 kV nebo 220/110 kV nebo dojde k výpadku celé přenosové soustavy. V diplomové práci je uvažováno vždy jen s totálním výpadkem jedné uzlové oblasti. U každého modelu je proveden popis manipulace a vyhodnocení výsledků.

2. Teoretický rozbor distribučních sítí

2.1. Distribuční soustavy

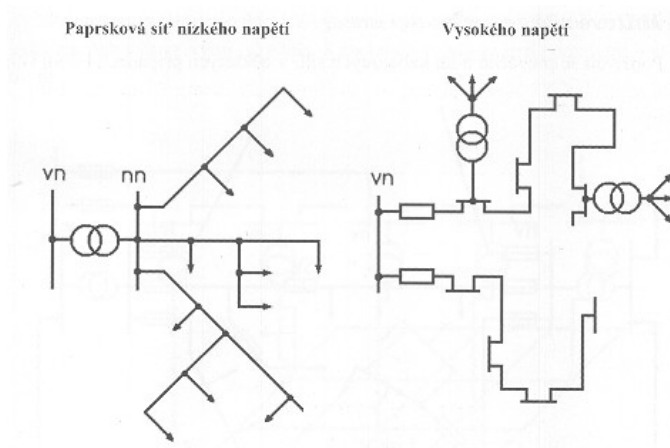
Pro distribuci elektrické energie slouží distribuční soustavy, které mohou mít hladinu napětí od 110 kV až po 0,4 kV. Návaznost jednotlivých hladin napětí distribučních rozvodných soustav je znázorněna na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Hladiny distribučních soustav [3]

2.1.1. Sítě paprskové radiální

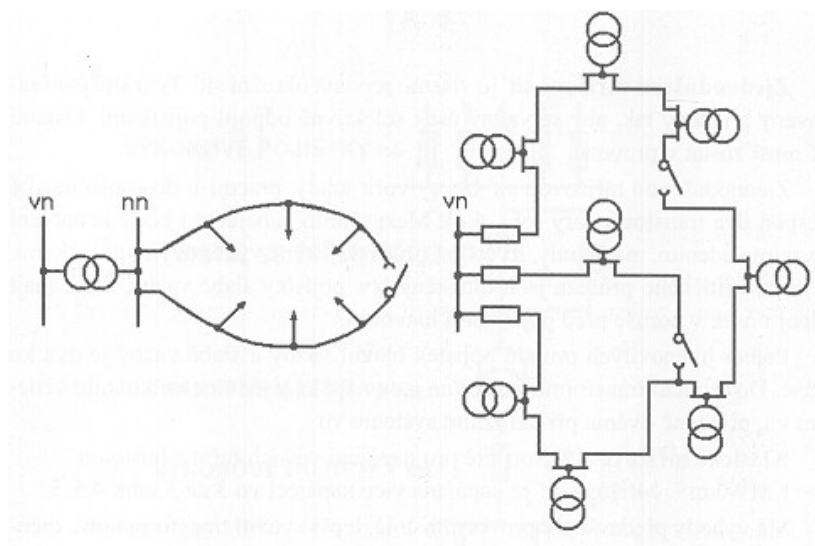
U paprskových sítí vychází vedení z transformovny a zásobuje jednotlivé odběry. Každý paprsek je napájen samostatně, takže jednotlivé paprsky sítě nemůžeme vzájemně spojovat. Tento způsob rozvodu elektrické energie je sice ekonomicky nejvýhodnější, ale spolehlivost dodávek je nejnižší, a proto se tento způsob používá pouze v malých městech a vesnicích. Na obr. 2.2 je znázorněna paprsková síť.



Obr. 2.2 Paprsková radiální síť [3]

2.1.2. Síť okružní

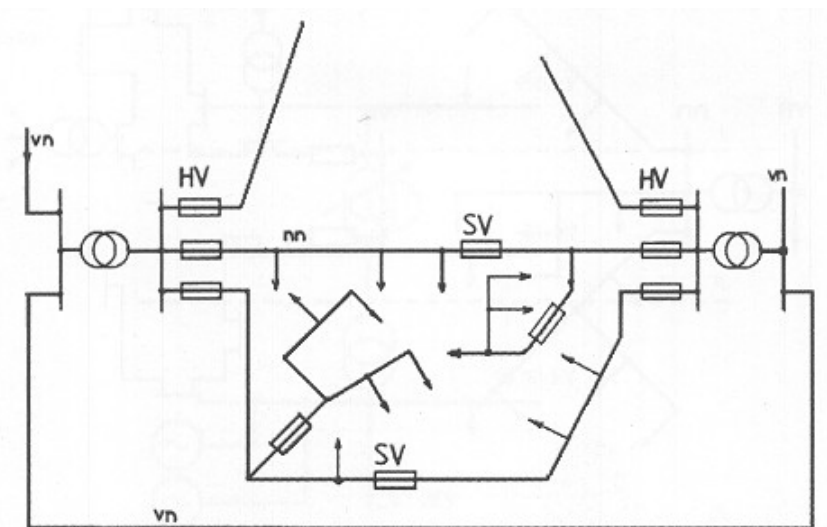
Tyto sítě se skládají z jednotlivých polosmyček. Polosmyčky jsou vedeny tak, aby byla možnost ve spínacích trafostanicích je sepnout. V běžném provozu se provozují rozepnuté, to znamená jako síť paprskové. Tyto sítě jsou nákladnější než paprskové sítě, avšak jsou provozně spolehlivější. Pokud provozujeme rozepnuté okružní síť, je provoz přehledný a nenáročný. V praxi se tyto sítě dají použít pro všechny hladiny napětí nn, vn a vvn. Na obr. 2.3 je znázorněna okružní síť.



Obr. 2.3 Okružní síť [3]

2.1.3. Mřížové síť

Mřížové síť používáme převážně u nízkonapětových kabelových sítí, v některých případech můžeme použít tyto sítě i jako vysokonapětové. Na obr. 2.4 je znázorněna zjednodušená mřížová síť.



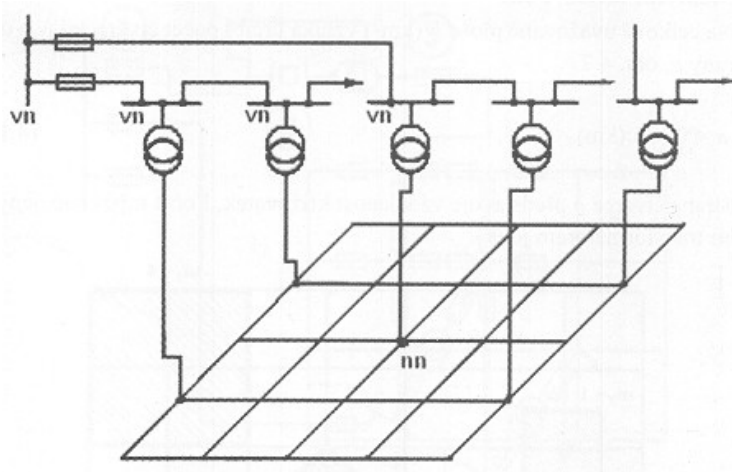
Obr. 2.4 Zjednodušená mřížová síť [3]

Za zjednodušenou mřížovou síť lze považovat sepnutou okružní síť. Tyto sítě jsou jištěny a sestaveny takovým způsobem, aby byl vadný úsek odpojen pojistkami. Ostatní část sítě musí zůstat v provozu.

Zjednodušenou mřížovou síť můžeme vytvořit, když alespoň dva transformátory pracují do společné sítě viz. obr. 2.4. Mezi hlavními transformátory (body) je spojení havarijním vedením, neboli magistralou s většími průřezy, která je jištěna výkonovými pojistkami. V místě, kde je kritický průřez vedení, umísťujeme pojistky slabé vazby, které mají za úkol odpojit úsek v poruše před hlavními pojistkami.

Poměr jmenovitých proudů pojistek hlavní vazby a slabé vazby je dva ku jedné. [4] Distribuční transformovny vn/nn jsou napájeny vždy jedním venkovním vedením vn, v případě okružního systému vn dvěma transformátory.

Klasické mřížové sítě používáme pro napájení větších měst s hustotou odběru $\sigma = 1 \text{ MW} \cdot \text{km}^{-2}$. Příklad mřížové sítě napájené více napáječi je na obr. 2.5. Tyto sítě mají výhody zejména v provozní jistotě, lepším využití transformátorů, menších ztrátách a kolísáním napětí. Nejčastěji mřížové sítě provádíme jako kabelové sítě nízkého napětí. Hlavní nevýhodou těchto sítí jsou vyšší zkratové proudy.



Obr. 2.5 Mřížová síť [3]

Transformátory se zdánlivým výkonem do 315 kVA jistíme výkonovými pojistkami vn, u větších jednotek pak musíme jistit výkonovými odpínači. Kabelové vývody jistíme pomocí pomalých pojistek nn.

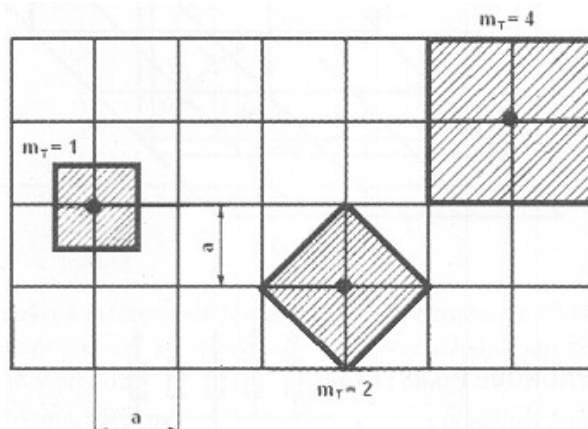
• Sestavení mřížové sítě

Předpokládáme uvažovanou plochu F (km^2). Na této ploše vznikne určitý počet čtverců N o délce strany a viz. obr 2.6.

$$a = \sqrt{\frac{F}{N}} \quad (\text{km}, \text{km}^2, -) \quad (2.1)$$

Strana čtverce a nám představuje vzdálenost křižovatek. Počet mříží, které jsou napájeny jedním transformátorem je m_T .

Když se zvyšuje odběr, je možno přidávat další transformátory na vhodná místa v síti. Při výpadku jednoho transformátoru musí zatížení přebírat ostatní transformátory. Rezerva výkonu transformátorů je pouze o 10 % vyšší než je očekávané zatížení při maximálním odběru.



Obr. 2.6 Sestavení mřížové sítě [3]

• Jištění mřížových sítí

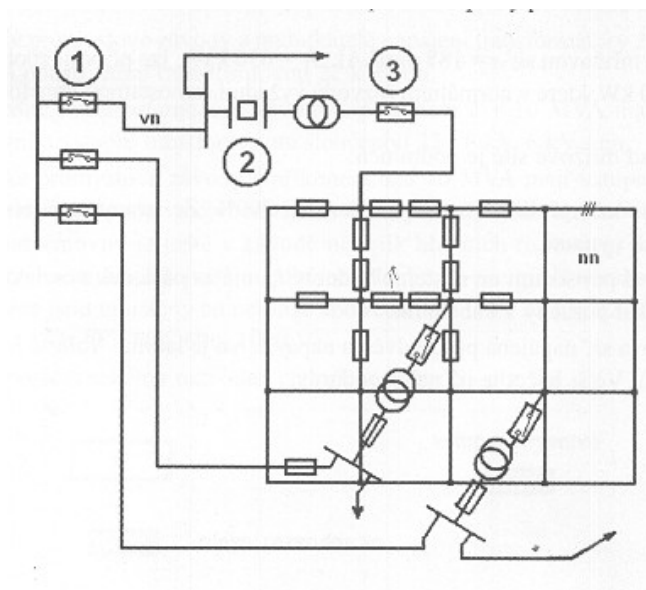
Při jištění mřížových sítí musíme zejména zabránit zpětnému napájení místa poruchy přes kabelovou síť nn viz. obr 2.7.

Primární vedení vysokého napětí jistíme nadproudovou ochranou ze strany zdroje. Druhou stranu transformátoru jistíme pojistkami vysokého napětí. Na stranu transformátoru dáváme vypínač, který vypne při zpětném toku proudu. K tomuto vypínači je přiveden impuls k vypnutí od zpětného relé, vypínač na straně nízkého napětí transformátoru nemá nadproudové relé a slouží jen k odepnutí transformátoru ze strany nn kabelové mřížové sítě, kterou teče zpětný proud od místa zkratu.

Tímto dosáhneme odpojení vadného napáječe jak z primární, tak i ze sekundární strany. V okamžiku vzniku zkratu téměř současně vypne vypínač nn s nadproudovou ochranou i vypínač se směrovým zpětným relé. Mřížová síť zůstává v provozu a porouchaná část je napájena ostatními napáječi vn. Místo zkratu je ohraničeno pojistkami nn.

Výkonové pojistky nízkého napětí mají pomalou charakteristiku a ve všech uzlech musí mít stejný jmenovitý proud.

Jmenovitý proud se navrhuje podle průřezu kabelu a jistí se na maximální proud. Mřížové sítě musí odolávat běžným zkratům, které se mohou vyskytnout v domovních rozvodech.



Obr. 2.7 Jištění mřížových sítí [3]

2.2. Elektrické stanice

Pod pojmem elektrická stanice rozumíme ucelené zařízení uzlů elektrizační soustavy, která slouží k transformaci elektrické energie na jiné napětí a k jejímu rozvodu (transformovna) nebo k rozvodu elektrické energie téže hladiny napětí (spínací stanice). Dále elektrické stanice mohou sloužit k přeměně elektrického střídavého proudu na proud jiného kmitočtu nebo na proud stejnosměrný a jeho rozvádění (měnárna).

2.2.1. Členění elektrických stanic

K členění elektrických stanic můžeme použít různá kritéria:

- **Podle účelu**
 - Transformovny – slouží k transformaci elektrické energie na požadované napětí a jejímu následnému rozvodu
 - Spínací stanice - slouží k rozvodu elektrické energie stejného napětí
 - Měnárna – slouží k přeměně střídavé soustavy na jinou soustavu (jiného kmitočtu nebo stejnosměrnou)
- **Podle způsobu obsluhy**
 - S trvalou obsluhou
 - Bez obsluhy s pravidelným dozorem
 - Bez obsluhy s dálkovým ovládáním

- **Podle umístění v elektrizační soustavě**

- Elektrické stanice výroben
- Elektrické stanice v přenosové soustavě
- Elektrické stanice spotřeby

2.2.2. Hlavní části elektrických stanic

- **Elektrická část**

- Rozvodná zařízení – slouží pro rozvádění, jištění, měření a kontrolu elektrické energie a pro řazení elektrických obvodů
- Transformátory
- Kompenzační zařízení – statické, rotační

- **Společná a pomocná část**

Slouží především k zabezpečení chodu a údržby pomocných provozů jako olejové a vodní hospodářství, revizní věž, dílny, sklady, administrativa, akumulátorovna apod.

- **Stavební část**

- Pozemek
- Budovy
- Komunikace
- Vlečka, apod.

2.2.3. Schémata elektrických stanic

Schéma elektrické stanice nám určuje provozní vlastnosti. Typ schématu je určován několika požadavky, z nichž hlavní jsou provozní požadavky, bezpečnost provozu a investiční a provozní hospodárnost.

Schéma elektrické stanice má být přehledné a jednoduché. Schéma je tvořeno odbočkami a přípojnícemi. Základním prvkem rozvodného zařízení je odbočka, která je tvořena skupinou připojených přístrojů, které slouží ke spínání, měření a ochraně vývodů nebo k přívodu elektrické energie. Podle možné funkce dělíme odbočky na:

- **Hlavní**

- Alternátorové
- Transformátorové
- Vývodové (venkovní, kabelové, motorové, kondenzátorové, tlumivkové a jiné)

- **Pomocné**
 - Spínače hlavních přípojníc
 - Spínače pomocných přípojníc
 - Pro měření napětí
 - Pro bleskojistky

Další dělení odboček podle výstroje:

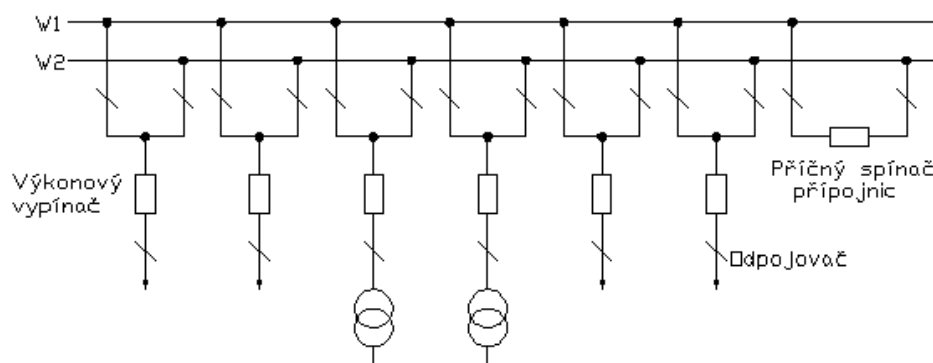
- Provozní
- Záložní (s plnou výstrojí, s částečnou výstrojí)

Propojení odboček umožňují přípojnice, jsou to holé vodiče, jejichž průřez je určen proudovým zatížením, požadavky na pevnost a zkratovými poměry. U rozvodných zařízení lze použít i více systémů přípojníc. Podle počtu a druhů přípojníc pak můžeme provozovat rozvodná zařízení:

- **S přímými přípojnícemi**
 - Jednoduchými
 - Jednoduchými a pomocnými
 - Dvojitými
 - Dvojitými s jednou ve funkci pomocné přípojnice
 - Dvojitými a pomocnými
 - Trojitými
 - Trojitými a pomocnými
- **S okružními přípojnícemi**
 - Bez záložního spínače
 - Se záložním spínačem
- **Bez přípojníc**
 - Např. spojení H
- **S větším počtem vypínačů na odbočku**

2.2.4. Schémata elektrických stanic podle systému přípojníc

- Dvojitý systém přípojníc**



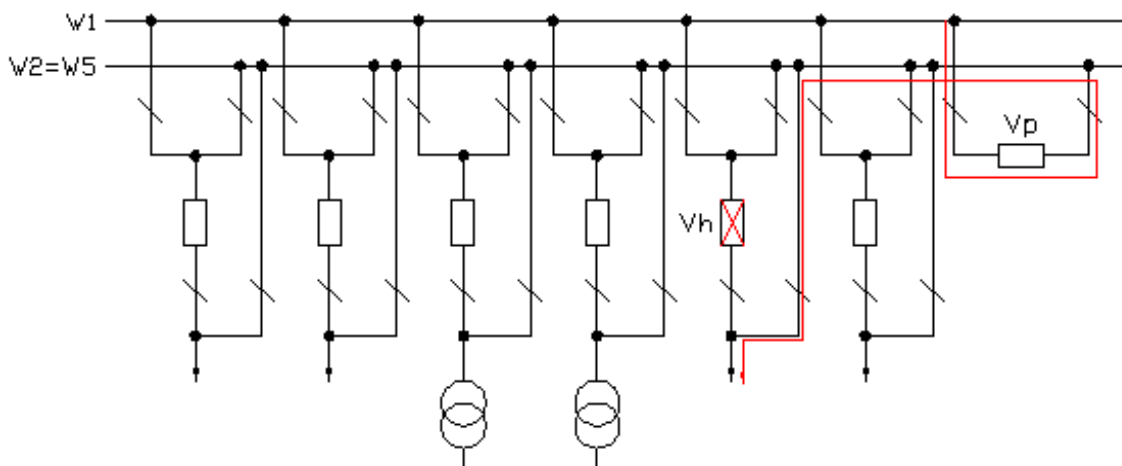
Obr. 2.8 Dvojitý systém přípojníc [8]

Dvojitý systém přípojníc používáme zejména tam, kde vyžadujeme vysokou spolehlivost dodávky elektrické energie, kde není přípustné ani krátkodobé přerušení dodávky nebo kde je potřeba provoz odboček dělit do dvou skupin z těchto důvodů:

- Omezení zkratových výkonů (proudů)
- Potřeba současného napájení ze dvou různých zdrojů
- Oddělení spotřebičů, které mají kolísavý příkon od spotřebičů, které jsou citlivé na kolísání napětí
- Oddělení kabelových a venkovních sítí
- Zajištění důležitých odběrů i v případě výpadku některých napáječů zbývajících napáječů menšího výkonu

Pokud je nutno provoz dělit na více skupin, používá se i podélné dělení přípojníc.

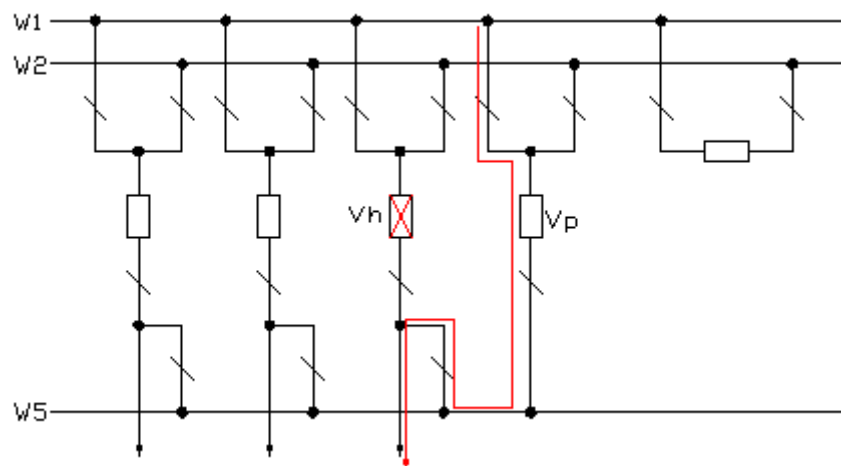
- Dvojitý systém přípojníc, z nichž jedna slouží jako pomocná přípojnice**



Obr. 2.9 Dvojitý systém přípojníc – jedna hlavní slouží jako pomocná přípojnice [8]

Tento systém přípojníc umožní použít v případě potřeby jeden systém hlavních přípojníc jako pomocnou přípojnicí. Náhradní provoz odbočky je při vyřazeném vypínači V_h přes spínač pomocné přípojnice V_p . Tento systém je nevýhodný v tom, že pokud použijeme jednu hlavní přípojnicí jako pomocnou, potom musíme všechny odběry z této přípojnice převést na druhou hlavní přípojnicí.

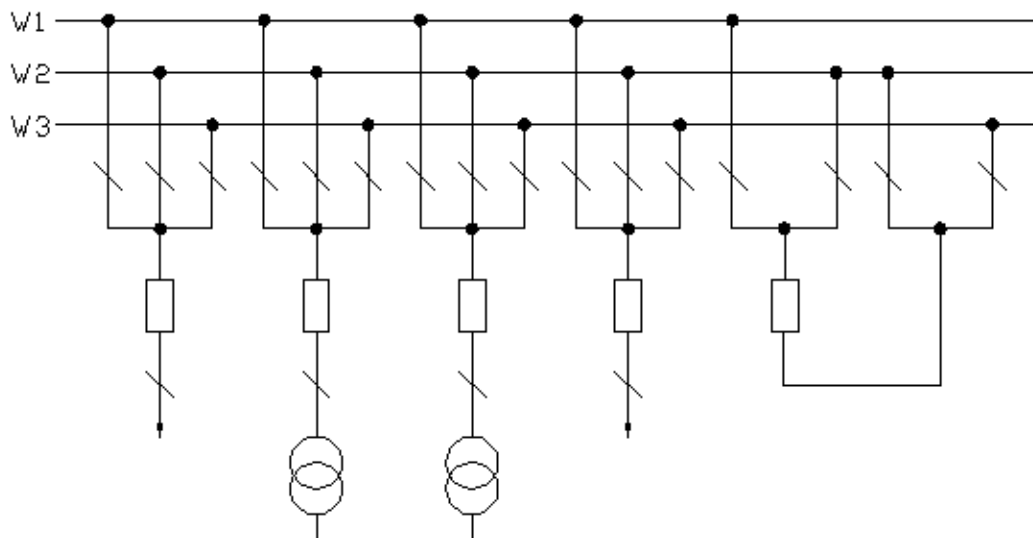
- **Dvojitý systém přípojníc s pomocnou přípojnicí**



Obr. 2.10 Dvojitý systém přípojníc s pomocnou přípojnicí [8]

Oproti předchozím systémům dvojitých přípojníc je toto provedení investičně náročnější, protože musíme mít přípojnicí navíc. Výhodou je ovšem to, že tento systém neomezuje rozsah manipulací a tím i výhody dvojitého systému.

- **Trojité systém přípojníc**

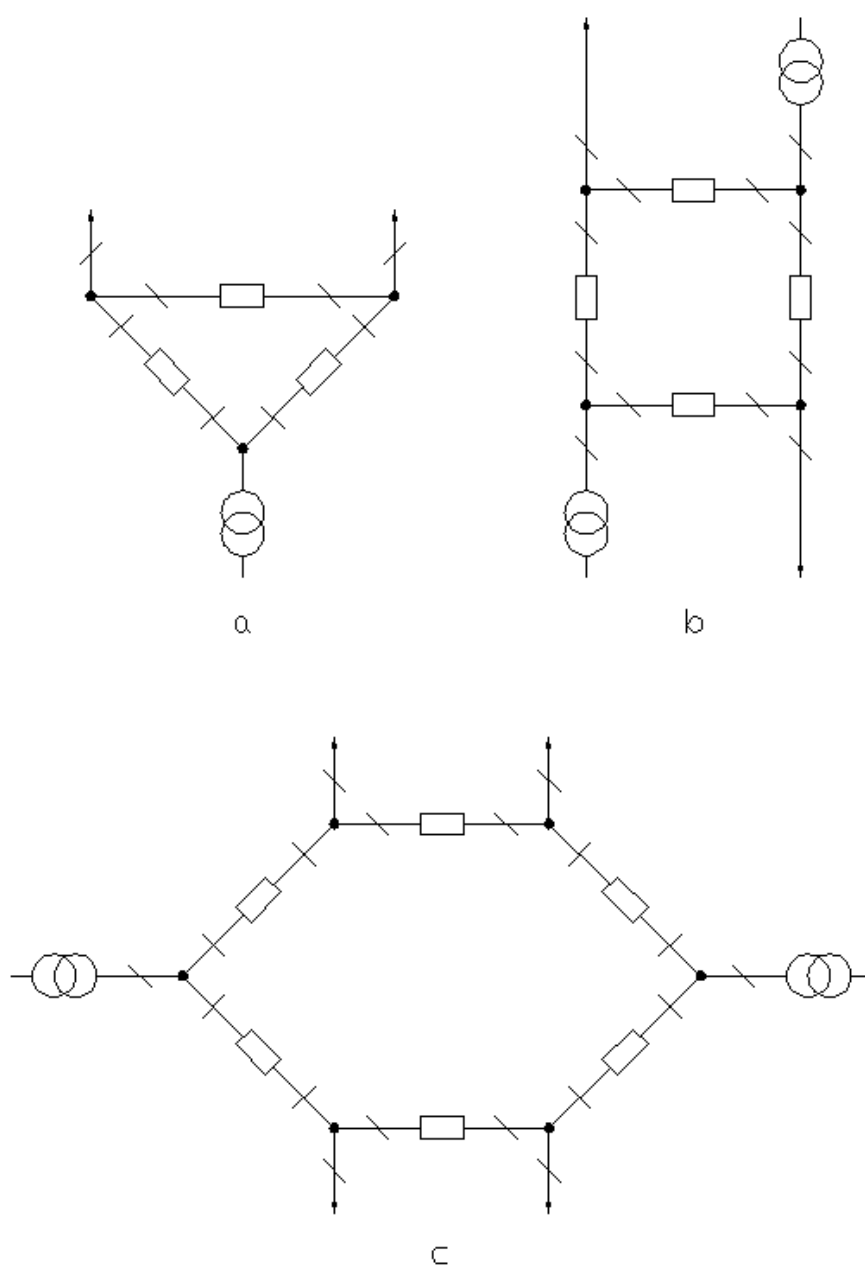


Obr. 2.11 Trojitý systém přípojníc [8]

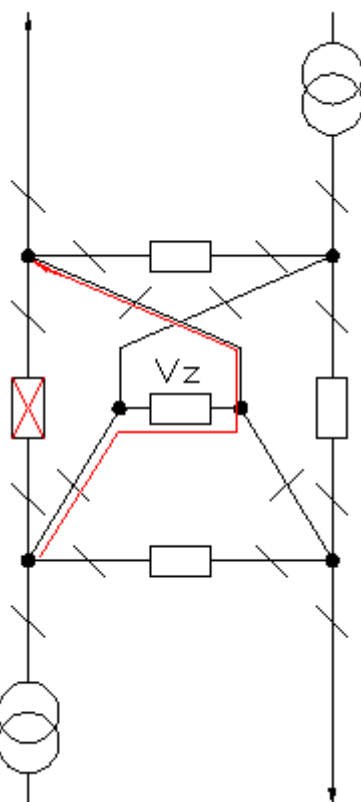
Tento systém přípojníc se používá tam, kde dvojité přípojnice musí být trvale v odděleném provozu a při revizi není dovoleno ani krátkodobé přerušení dodávky elektrické energie. Další použití tohoto systému je tam, kde provoz musí být dělen do tří skupin, to je při velkých zkratových výkonech, kde je nutné provozní dělení sítí nebo s ohledem na stupeň důležitosti dodávky elektrické energie. Ve výjimečných případech se používá i podélné dělení přípojníc.

Trojítý systém přípojníc je možno konstruovat tak, že jedna z hlavních přípojníc se dá použít jako pomocná přípojnice nebo se samostatnou pomocnou přípojnici.

- **Okružní systém přípojníc**



Obr. 2.12 Okružní systém přípojníc [8]



Obr. 2.13 Okružní systém přípojníc se záložním vypínačem [8]

Pomocí okružních přípojníc vytvoříme uzavřenou soustavu přípojníc. Každá odbočka je připojena mezi dva vypínače, díky toho dosáhneme, že při revizi nedojde ani ke krátkodobému odstavení odbočky. Přípojnice jsou obecně zapojeny do polygonu (trojúhelník až osmiúhelník), jak je znázorněno na obr. 2.12. Při revizi vypínače rozvodného zařízení ztrácí charakter okružních přípojníc, proto se někdy používá zapojení se záložním vypínačem, jak je znázorněno na obr. 2.13, kterým je možno nahradit jakýkoliv vypínač okružního systému. Tento systém okružních přípojníc používáme zejména pro důležité energetické uzly vvn, které mají malý počet odboček.

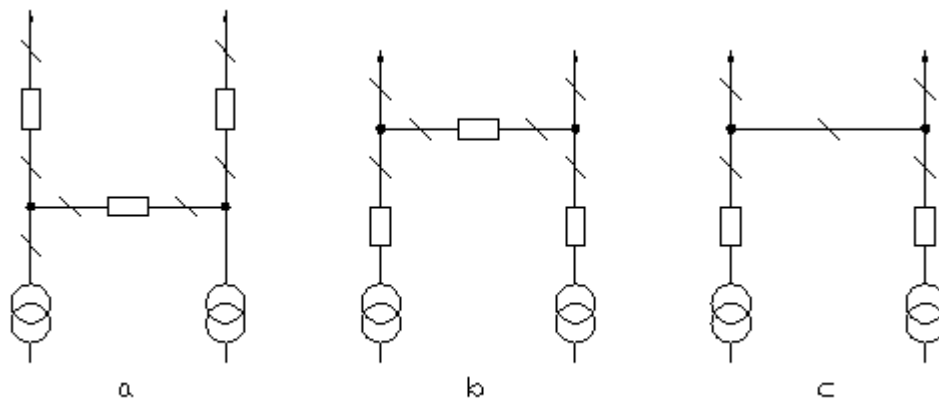
2.2.5. Schémata elektrických stanic 110 kV

V současné době vedení 110 kV slouží především pro distribuční účely. Pomocí těchto vedení se rozvádí energie od velkých uzlů stanic 400 kV a 220 kV do měst nebo pro napájení průmyslových závodů.

- **Rozvodná zařízení bez přípojníc**

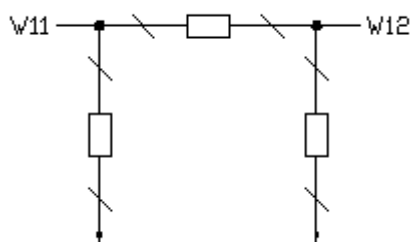
Schéma bez přípojníc je běžně používáno pro malé distribuční stanice 110 kV/vn (schéma H) tam, kde do budoucna nepředpokládáme rozšíření rozvodny. Je používáno ve

stanici se dvěma vývody a dvěma transformátory. [8] Toto schéma se používá pro koncová vedení (obr. 2.14a) nebo průběžná (obr. 2.14b), kde vypínače na straně transformátorů nám umožňují nerušený provoz průběžného vedení při poruše transformátorů. Na obr. 2.14c je zjednodušené schéma rozvodny, kde není na ochozu výkonový vypínač.

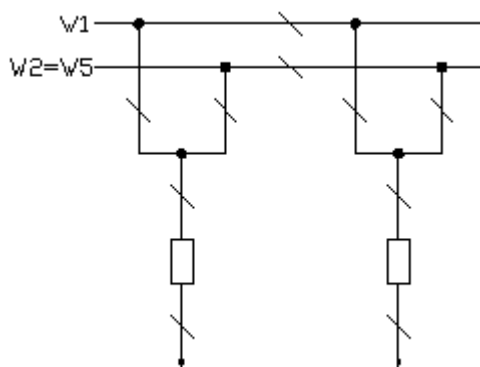


Obr. 2.14 Rozvodná zařízení bez přípojníc [8]

- **Rozvodny střední velikosti**



Obr. 2.15 Rozvodny střední velikosti – vnitřní provedení [3]



Obr. 2.16 Rozvodny střední velikosti – venkovní provedení [3]

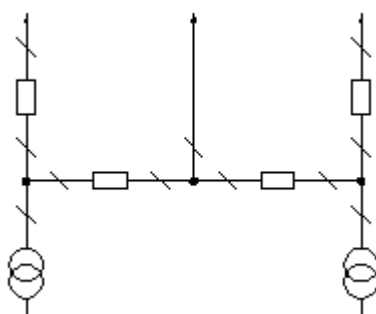
Na obr. 2.15 je vnitřní provedení stanice, které má přípojnice rozděleny na dva úseky. Na obr. 2.16 je venkovní provedení stanice, které má pomocnou přípojnicí. Dvojitý systém přípojníc je podrobněji popsán v kapitole 2.2.4.

- **Úsporná schémata malých rozvodnů**

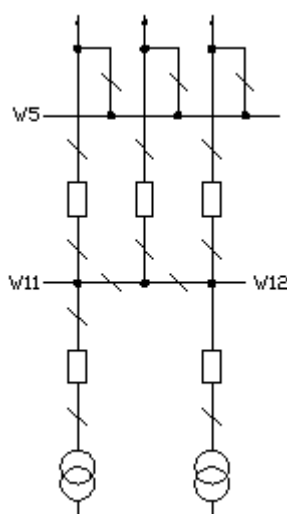
Pro zvolení schématu malých rozvodnů má zásadní vliv způsob jejich zapojení do elektrizační soustavy. Vedení 110 kV může být pro danou stanici zasmyčkováno nebo může odbočovat. Neustále je vyvíjena snaha o zhospodárnění výstavby a zjednodušení stanic.

Velký vliv na zhospodárnění stavby má nahrazení drahých vypínačů výkonovými odpojovači, pojistkami nebo zkratovači. Při této náhradě musíme pečlivě uvážit jejich vlastnosti, a to hlavně vypínací schopnost.

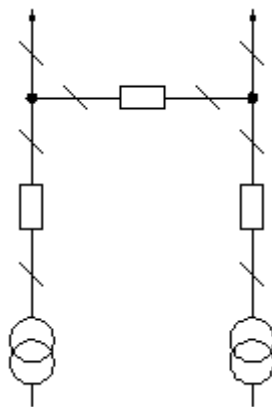
Na obr. 2.17 je schéma rozvodny s pěti odbočkami, na obr. 2.18 je schéma s pěti odbočkami a pomocnou přípojnicí a na obr. 2.19 je schéma spojení H pro čtyři odbočky.



Obr. 2.17 Úsporné schéma malé rozvodny s pěti odbočkami [3]



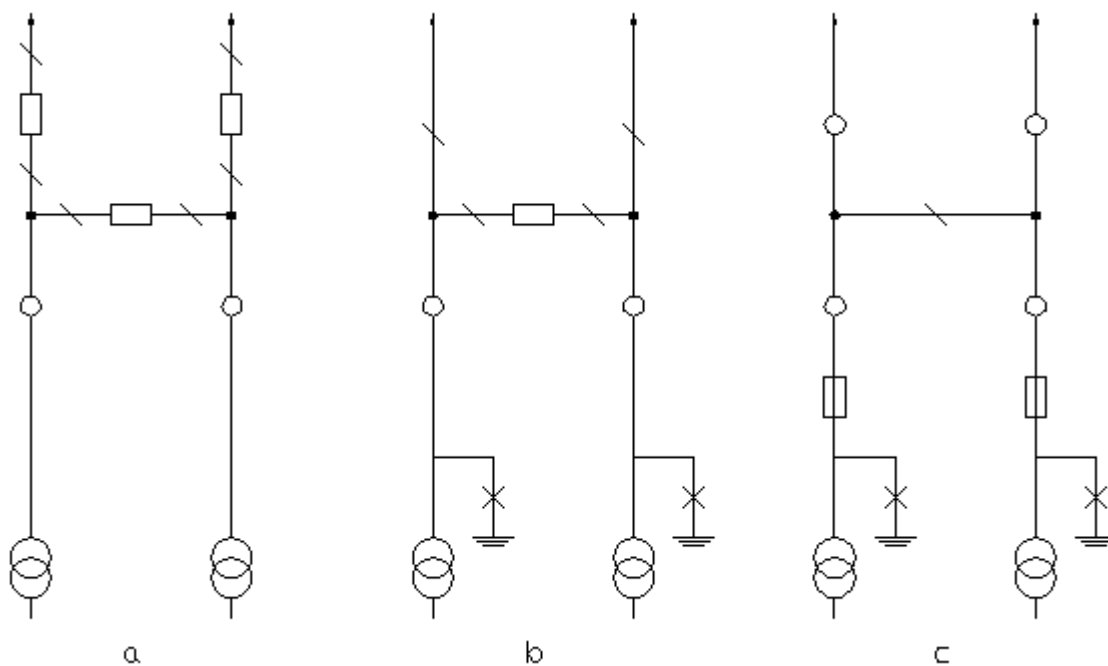
Obr. 2.18 Úsporné schéma malé rozvodny s pěti odbočkami a pomocnou přípojnicí [3]



Obr. 2.19 Úsporné schéma malé rozvodny se čtyřmi odbočkami – spojení „H“ [3]

- **Schémata rozveden 110 kV s náhradou vypínačů**

Vypínače u rozveden 110 kV je možno nahradit odpínači u transformátorů (obr. 2.20a), zkratovači u transformátorů (obr. 2.20b). Na obr. 2.20c je schéma rozvodny se zkratovači, pojistkami vvn a odpínači u transformátorů.



Obr. 2.20 Schémata rozveden 110 kV s náhradou vypínačů [3]

3. Současný stav sítí 110 kV ČEZu oblast Morava

Distribuční soustava ČEZu v oblasti Morava má 6 uzlových oblastí (rozvoden) 110 kV. Jsou to rozvodny: Horní Životice, Albrechtice, Krasíkov, Prosenice, Lískovec a Nošovice. Uzlové sítě se skládají z vedení, úseků vedení, transformátorů, kompenzátorů apod., které se stýkají v uzlech. Uzlové sítě jsou používány zejména proto, že u tohoto uspořádání sítí je zvýšená pravděpodobnost plynulosti dodávky elektrické energie, hospodárnější provoz, změny úbytku napětí při změnách zatížení a důležitou výhodou je zapojení těchto sítí tak, že lze dosáhnout nejvhodnější varianty pro okamžitý provoz.

Uzlové oblasti jsou napájeny z přenosové soustavy o napěťových hladinách 400 kV a 220 kV, tyto uzlové oblasti a přenosová soustava je na obr. 3.1. Ve výhledu několika let se uvažuje o přechodu na napěťovou hladinu 400 kV. V těchto uzlových oblastech je provedena transformace 400/110 kV nebo 220/110 kV. Z přípojnic s napěťovou hladinou 110 kV je elektrická energie rozvedena k další distribuci.

Rozvodny 110 kV jsou obvykle provedeny jako venkovní. Mají dvě nebo tři hlavní přípojnice a pomocnou přípojnicí. Počet hlavních přípojnic je obvykle volen podle toho, kolik je v rozvodně transformátorů.

V tabulkách 3.1 a 3.2 jsou uvedeny přehledy technických parametrů ČEZ Distribuce, a.s. a ČEZ Distribuce, a.s., oblast Morava.

Transformátory napájející distribuční soustavu 110 kV ze soustavy přenosové 400 kV nebo 220 kV jsou uvedeny v tabulce 3.3. Jsou uvedeny hlavní parametry těchto transformátorů jako jsou jmenovité výkony, jmenovitá napětí a jmenovité proudy, dále je uvedeno spojení vinutí, typ a výrobce.

Tab. 3.1 Technické informace ČEZ Distribuce, a.s. [9]

	Jednotka	2010
Zásobovaná oblast	km ²	52697
Počet odběrných míst	ks	3544605
Maximální zatížení sítě	MW	5963
Rozvinutá délka vedení	km	157481
z toho: vvn	km	9799
vn	km	49697
nn	km	97985
Počet transformačních stanic	ks	55314
Počet rozvoden	ks	220

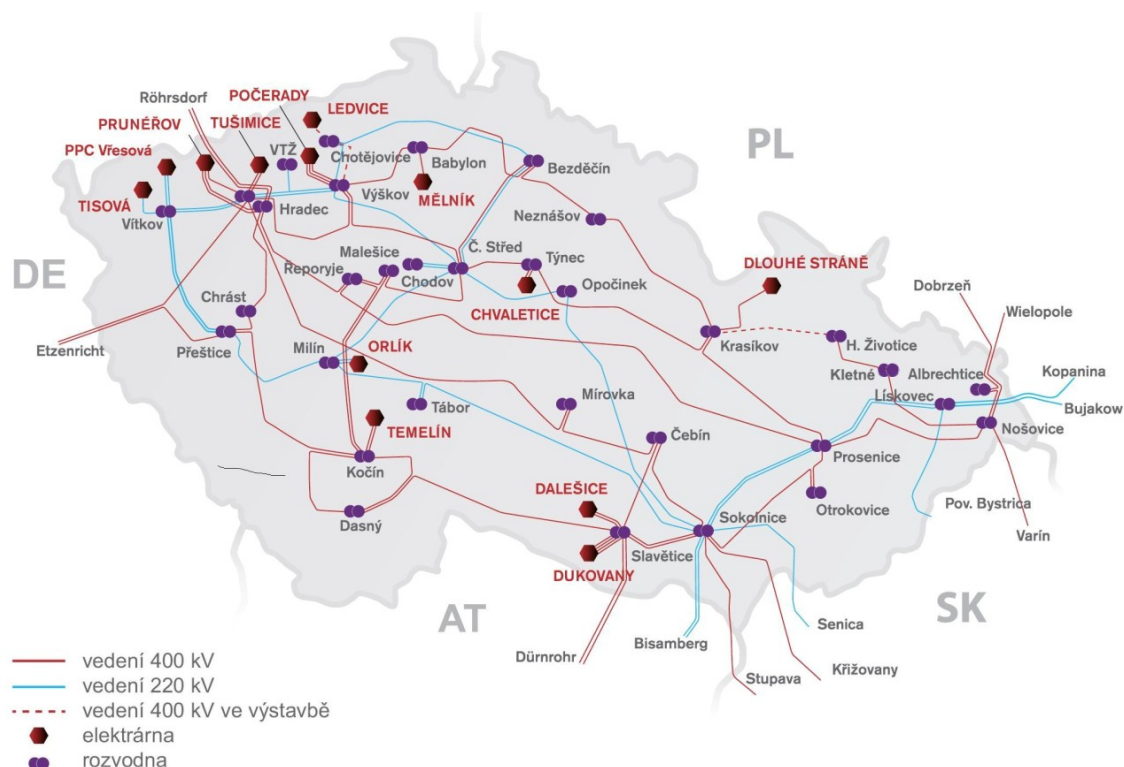
Tab.3.2 Technické informace ČEZ Distribuce, a.s., oblast Morava [9]

	Jednotka	2002
Venkovní vedení 110 kV	km	1135
Venkovní vedení vn	km	7699,1
Kabelová vedení vn	km	2269,6
Venkovní vedení nn	km	17384,7
Kabelová vedení nn	km	5705,7
Transformátory 110 kV	ks	98
Pole 110 kV	ks	465
Transformátory vn/nn	ks	8888
Počet rozvodn	ks	53

Tab. 3.3 Parametry přenosových transformátorů [9]

Rozvodna	Pole	U-hladina	Typ TR	S _{n1}	S _{n2}	S _{n3}	U _{n1}	U _{n2}	U _{n3}
				(MVA)	(MVA)	(MVA)	(kV)	(kV)	(kV)
HZI	T401	ZVN/VVN		250	250	100	400	121	10,5
HZI	T402	ZVN/VVN		250	250	100	400	121	10,5
LIS	T202	VVN/VVN		200	200	100	230	121	10,5
LIS	T203	VVN/VVN		200	200	100	230	121	10,5
LIS	T204	VVN/VVN	1 ARP 200000-245	200	200	100	230	121	10,5
NOS	T401	ZVN/VVN		250	250	100	400	121	10,5
NOS	T402	ZVN/VVN		250	250	100	400	121	10,5
ALB	T401	ZVN/VVN	ČR - ČKD	250	250	100	400	121,8	10
ALB	T402	ZVN/VVN	1 ARZd 250 000 – 420	250	250	100	400	121	10,5
PRN	T201	VVN/VVN	1ARZ 200000-245	200	200	100	230	121	10,5
PRN	T202	VVN/VVN	1ARZ 200000-245	200	200	100	230	121	10,5
PRN	T401	ZVN/VVN		500	500	180	400	231	34
KRA	T401	ZVN/VVN		350	350	100	400	121	10,5
KRA	T402	ZVN/VVN	ARZd 350 000 - 420/C	350	350	100	400	121	10,5
KRA	T403	ZVN/VVN	405R44D9K-99	350	350	100	400	121	10,5

Spojení				I _{n1}	I _{n2}	I _{n3}	Výrobce
vinutí	vinutí 1	vinutí 2	vinutí 3				
Yy0/Yd1/Yd1	YN	a0	d1	(A)	(A)	(A)	SSSR-Záporoží
Yy0/Yd1/Yd1	YN	a0	d1	361	1193	5500	SSSR-Záporoží
Yy0/Yd1/Yd1	YN	a0	d1	503	955	5500	SSSR
Yy0/Yd1/Yd1	YN	a0	d1	503	955	5500	SSSR
YNa0d1	YN	a0	d1	502	954,3	5498,6	Končar-Zagreb
Yy0/-/Yd11	YN	a0	d1	361	1193	5500	SSSR-Záporoží
Yy0/-/Yd11	YN	a0	d1	361	1193	5500	SSSR-Záporoží
Yy0/Yd1/Yd1	YN	a0	d1	361	1195	5780	ČR - ČKD
YNa0d1	YN	a0	d1	361	1193	5499	Siemens - Končar
Yauto/Yy0/Yd1	YN	a0	d1	502	954	5499	Končar-Zagreb
Yauto/Yy0/Yd1	YN	a0	d1	502	954	5499	Končar-Zagreb
Y/Y0/d11	YN	a0	d1	723	1257	3057	SSSR jedofáz.jednotky
Yy0/Yd1/Yd1	YN	a0	d1	505	1670	5499	
YNa0/d1	YN	a0	d1	505,2	1670	5498,6	Siemens - Končar
YNa0d1	YN	a0	d1	505	1670	5499	Elin TAQ



Obr. 3.1 Schéma sítě 400 kV a 220 kV [10]

3.1. Rozvodna Horní Životice

- Provedena se třemi hlavními přípojnici a pomocnou přípojnici.
- Napájena z přenosové soustavy 400 kV přes transformátory 400/110 kV (T401 a T402).
- Zkratová odolnost je 7621 MVA a zkratový proud je 40 kA na straně 110 kV, zkratová odolnost je 34641 MVA a zkratový proud je 50 kA na straně 400 kV .

3.2. Rozvodna Albrechtice

- Provedena se dvěma hlavními přípojnici s podélným dělením a pomocnou přípojnici.
- Napájena z přenosové soustavy 400 kV přes transformátory 400/110 kV (T401 a T402).
- Zkratová odolnost je 4000 MVA na straně 110 kV, zkratová odolnost je 17321 MVA a zkratový proud je 25 kA na straně 400 kV .

3.3. Rozvodna Krasíkov

- Provedena se třemi hlavními přípojnici s podélným dělením a pomocnou přípojnici.
- Napájeno z přenosové soustavy 400 kV přes transformátory 400/110 kV (T401, T402 a T403).
- Zkratový proud je 40 kA na straně 110 kV.

3.4. *Rozvodna Prosenice*

- Provedena se dvěma hlavními přípojnici a pomocnou přípojnici.
- Napájeno z přenosové soustavy 220 kV přes transformátory 220/110 kV (T201 a T202).
- Zkratová odolnost je 3500 MVA na straně 110 kV a zkratová odolnost je 7500 MVA na straně 220 kV .

3.5. *Rozvodna Lískovec*

- Provedena se třemi hlavními přípojnici s podélným dělením a pomocnou přípojnici.
- Napájeno z přenosové soustavy 220 kV přes transformátory 220/110 kV (T202, T203 a T204).
- Zkratová odolnost je 2500 MVA na straně 110 kV a zkratová odolnost je 5000 MVA na straně 220 kV .

3.6. *Rozvodna Nošovice*

- Provedena se dvěma hlavními přípojnici s podélným dělením a pomocnou přípojnici.
- Napájeno z přenosové soustavy 400 kV přes transformátory 400/110 kV (T401 a T402).
- Zkratová odolnost je 5000 MVA na straně 110 kV, zkratová odolnost je 34641 MVA a zkratový proud je 50 kA na straně 400 kV .

4. Výpočtový SW Daisy

4.1. *Model soustavy distribuční sítě 110 kV*

Model soustavy distribuční sítě 110 kV je vytvořen ve výpočtovém programu PAS Daisy. Tento program pracuje na principu Newton – Raphsonovy iterační metody, jejíž princip je uveden v kapitole 4.3. Hodnoty toku výkonů a připojených transformátorů jsou ze zimního měření ze dne 21.1.2011, které bylo provedeno v 17 hodin. Schéma tohoto modelu je v příloze č.1.

Do modelu sítě jsou zadány veškeré hodnoty, které potřebujeme pro výpočet chodu sítě. Jsou to například tyto parametry: jmenovitý výkon transformátoru, reaktance a impedance vedení, které jsou důležité pro určení dovoleného zatížení vedení.

Výpočtový program PAS Daisy počítá zatížení přenosových transformátorů, které je vyjádřeno pomocí toků činného a jalového výkonu, ze kterých lze vypočítat procentuální zatížení těchto transformátorů. Příklad výpočtu tohoto zatížení je uveden v kapitole 6.3. Dále jsou uvedeny veškeré toky výkonů u jednotlivých vedení a rozvodů. U vedení nám program počítá zatížení vyjádřeno v procentech.

Pokud jsou v modelu hodnoty se záporným znaménkem, znamená to, že výkon je do rozvodny nebo do vedení dodáván. Hodnoty s kladným znaménkem znamenají, že výkon je odebírán.

4.2. *Program PAS Daisy*

Program PAS Daisy je systém pro výpočty režimů elektroenergetických sítí, který počítá na základě Newton – Raphsonovy iterační metody. Lze v něm projektovat rozvodné sítě na všech napěťových hladinách. Jsou k dispozici dvě verze programu, a to PAS Daisy Off-Line a PAS Daisy On-Line. V programu lze počítat jak ustálený stav, tak i přechodný stav sítí. V diplomové práci jsem počítal pouze ustálený stav sítí.

4.2.1. PAS Daisy On-Line

Tento program je určen pro operativní řízení provozu elektroenergetických soustav v reálném čase. Produkt je navržen pro sítě vn i vvn. [11]

Systém On-Line zachycuje aktuální stav řízené soustavy a umožňuje ověření plánovaných zásahů, jako jsou přepnutí vedení na jiný uzel apod. Na první pohled musí být zřejmé, zda je soustava v normálním, nebezpečném nebo poruchovém stavu a do jakého stavu se dostane po manipulaci pracovníkem nebo samovolným vývojem.

Jednou z velmi důležitých funkcí systému On-Line je simulační režim, který nám umožní ověřit zamýšlené manipulace na uživatelské simulační databázi. Simulační databáze je buď naplněna reálnými hodnotami nebo hodnotami, které popisují úplný stav soustavy

v některém okamžiku minulosti. Pomocí této funkce lze krokovat vývoj soustavy po libovolně velkých krocích nebo po změnách veličin.

4.2.2. PAS Daisy Off-Line

U programu PAS Daisy Off-Line je snadná modifikace výpočetních dat a komplexnost výpočetních metod. Po nakreslení části sítě, lze okamžitě provést výpočty.

System Off-Line se používá zejména pro plánování rozvoje, projektování a dlouhodobou přípravu rozvodných sítí vn a vvn. V systému PAS Daisy Off-Line lze pracovat s obrázky a databázemi ze systému On-Line.

4.2.3. Parametry objektů

Uzly

- Jméno – jméno napájecího uzlu
- Typ uzlu – třída (U, δ), třída (P, Q), třída (U, P)
- E_{zad} – poměrná hodnota odpovídající skutečnému napětí uzlu vztaženému k jmenovitému napětí sítě. Hodnota je nutná pro výpočet ustáleného chodu sítě.
- Q_{min} – minimální dodávka jalového výkonu, který je napájecí uzel schopen dodat do sítě nebo odebrat ze sítě. Zadává se pouze pro napájecí uzel.
- Q_{max} – maximální dodávka jalového výkonu, který je napájecí uzel schopen dodat do sítě. Zadává se pouze pro napájecí uzel.

Vedení

- Jméno – jméno vedení
- Náhradní parametry úseku vedení – činný odpor, reaktance, susceptance, maximální proud
nebo
- Délka a typ vedení – délka se zadává v km a typ vedení se vybere ze seznamu vedení

Transformátory

V programu se zadá typ transformátoru a parametry se automaticky přenesou z vybraného typu transformátoru.

- Jméno – jméno transformátoru
- S_{inst} – instalovaný výkon
- U_{jn} – jmenovité napětí
- I_{max} – maximální proud

- P_{Cu} – ztráty ve vinutí
- P_{Fe} – ztráty v železe
- E_k – napětí nakrátko

Generátory

- Jméno – jméno generátoru
- S_{inst} – instalovaný výkon generátoru
- U_d – napětí generátoru
- U_{jm} – jmenovité napětí
- P – dodávaný činný výkon
- Q – dodávaný jalový výkon
- Q_{min} – minimální dodávka jalového výkonu
- Q_{max} – maximální dodávka jalového výkonu

4.3. Newton – Raphsonova iterační metoda

Newton – Raphsonova iterační metoda označována také jako metoda tečen se využívá k numerickému řešení soustav nelineárních rovnic. Metodou tečen je označována proto, že při přesnějším řešení rovnice $f(x) = 0$ je hledáno řešení ve směru tečny funkce $f(x)$.

- Je nutno řešit soustavu nelineárních rovnic
- Nejdříve se provede odhad kořenů při nulté iteraci $(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$
- Odhady kořenů se liší od jejich přesné hodnoty o $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$

Přesná hodnota kořenů je tedy:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1^{(0)} + \Delta x_1 \\ x_2 &= x_2^{(0)} + \Delta x_2 \\ &\vdots \\ x_n &= x_n^{(0)} + \Delta x_n \end{aligned} \tag{4.1}$$

Nelineární soustava rovnic:

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_2 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_n \end{aligned} \tag{4.2}$$

Původní soustava rovnic se může přepsat do tvaru:

$$\begin{aligned} f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) &= y_1 \\ \vdots \\ f_n(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) &= y_n \end{aligned} \quad (4.3)$$

Každou rovnici z uvedené soustavy lze napsat Taylorovou řadou funkce více proměnných v bodě $x_i^{(0)}$.

Například 1. rovnice soustavy:

$$f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0 \cdot \Delta x_1 + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_0 \cdot \Delta x_2 + \dots + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_0 \cdot \Delta x_n + \phi = y_1 \quad (4.4)$$

kde $\left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0$ hodnota parciální derivace v bodě $x_1^{(0)}$.

ϕ funkce, která zahrnuje členy s vyššími mocninami $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$ a druhé a vyšší derivace funkce f_1 .

Jsou li odhady blízké přesné hodnotě pak $\phi \rightarrow 0$.

Provedeme označení $f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) = y_1^{(0)}$ pak lze rovnici upravit na tvar:

$$\left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0 \cdot \Delta x_1 + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_0 \cdot \Delta x_2 + \dots + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_0 \cdot \Delta x_n = y_1 - y_1^{(0)} = \Delta y_1^{(0)} \quad (4.5)$$

kde $\Delta y_1^{(0)}$ rozdíl zadané hodnoty pravé strany y_1 a $y_1^{(0)}$ určené dosazením odhadem kořenů.

Analogicky se upraví i zbývající rovnice soustavy. Tím vznikne soustava lineárních rovnic pro výpočet neznámých diferencí $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$.

$$\begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_0 \\ \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \right|_0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \right|_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta y_1^{(0)} \\ \Delta y_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta y_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$[J] \cdot [\Delta x] = [\Delta y] \quad (4.7)$$

kde J matice parciálních derivací – Jacobián

Ze soustavy se vypočte vektor hledaných diferencí a určí se nové opravené hodnoty kořenů.

$$x_i^{(1)} = x_i^{(0)} + \Delta x_i, \text{ kde } i = 1, 2, \dots, n \quad (4.8)$$

Tyto kořeny se použijí pro další iteraci. Vypočtené hodnoty diferencí Δx_i nejsou zcela přesné, neboť v Taylorově rozvoji se uvažovaly jen první derivace.

Iterační proces lze napsat upravenou iterační maticovou rovnicí:

$$[\Delta x^{(k)}] = [J^{(k)}]^{-1} \cdot [\Delta y^{(k)}] \quad (4.9)$$

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + \Delta x_i^{(k)} \quad (4.10)$$

Předpokladem je, že existují spojité derivace $\frac{\partial f_i}{\partial x_i}$ pro $i, j = 1, 2, \dots, n \rightarrow$ jednoznačnost

řešení, konvergence iteračního postupu.

5. Problematika havarijního zálohování

5.1. *Uzlové sítě v bezporuchovém ustáleném stavu*

Jsou to elektrické obvody použité v elektroenergetice, které jsou určeny k přenosu a rozvodu elektrické energie. Hlavní kritéria správné funkce jsou energetická účinnost a dodržení rozmezí napětí. V sítích vvn a zvn může být požadováno i dodržení vzájemných fázových posunů fázorů napětí. Uzlová síť se skládá z vedení, úseků vedení, transformátorů, kompenzátorů apod., které se stýkají v uzlech.

V bezporuchovém stavu musí být splněna podmínka počtu uzlů $n-1$.

Výhody uzlových sítí:

- Zvýšená pravděpodobnost plynulosti dodávky elektrické energie spotřebitelům
- Hospodárnější provoz – ztráty výkonu jsou při správně navržených sítích menší než v sítích jednoduchých
- Změny napětí při změnách zatížení jsou menší
- Změnou zapojení lze dosáhnout nejvýhodnější varianty pro okamžitý provoz, je-li v provozu taková změna možná

- **Uzel**

Je to místo, v němž se odebírá nebo dodává výkon (proud), případně místo styku alespoň dvou větví. Stupeň uzlu určuje počet větví, které z něj vycházejí nebo v něm končí. Napáječe se stejným napětím (co do velikosti i fáze) pokládáme za jeden uzel. Celkový počet uzlů je n .

- **Větev**

Je to vodivé spojení dvou uzlů, které obsahuje alespoň jeden prvek sítě, ale žádný další uzel. Větev s uzly opatřenými indexy m a p označujeme jako větev (m, p) . Větev označujeme v .

- **Graf**

Geometrický útvar, který charakterizuje síť po topologické stránce. Je tvořen množinou větví uvažované sítě. Předpokládáme, že graf uzlové sítě je souvislý.

- **Smyčka**

Je to uzavřená čára s větví, která je tvořena tak, že počáteční a konečný bod je ve stejném uzlu. V uzlech smyčky se mohou stýkat pouze dvě větve, které jsou příslušné k téže smyčce. Počet uzlů smyčky je roven počtu jejich větví.

- **Úplný strom**

Je to souvislý subgraf, který obsahuje všechny uzly grafu a neobsahuje žádnou smyčku. Při vytváření se vychází od určitého uzlu. Při připojení nové větve musí přibýt další nový uzel, musí být zachována souvislost grafu a nesmí vzniknout smyčka. Větve stromů nazýváme závislé větve, jejich počet je $v_z = n - 1$. Větve nepatřící úplnému stromu nazýváme nezávislé větve, jejich počet je $v_n = v - v_z = v - (n - 1)$.

Pro výpočet chodu sítě musí být zadán určitý počet veličin. Jejich výběr nesmí být libovolný. Pokud máme zadáno více hodnot, je chod přerušen a přebytečné hodnoty nevyhovují obecně podmínkám sítě. Je-li naopak zadáno méně hodnot, je chod neurčitý a vyžaduje další hodnoty.

Ustálený chod sítě je jednoznačně určen čtyřmi uzlovými veličinami: absolutní hodnota napětí U , úhel napětí δ , činný výkon P a jalový výkon Q . Z hlediska těchto veličin dělíme uzly podle toho, které veličiny jsou určeny, a které dopočítávány.

- **Třída (U, δ) – bilanční uzel**

Značí se pevně 1. Dopocítáváme hodnoty P , Q . Tento uzel má za úkol hradit nerovnováhu v bilanci uzlových výkonů a navíc musí hradit ztráty činného a jalového výkonu. V bilančním uzlu by měl být zdroj výkonu.

- **Třída (P, Q)**

Je zadán buď odebíraný nebo dodávaný výkon do uzlu. Dodávku nebo odběr rozlišujeme znaménky plus a minus. Dopocítáváme hodnoty U , δ .

- **Třída (U, P)**

Tyto uzly nazýváme regulační nebo kompenzační. Při výpočtu počítáme jalový výkon, který musí být v tomto uzlu odebírán nebo dodáván, aby byla dodržena hodnota napětí. Dále se dopocítává úhel tohoto napětí.

5.2. Uzlové sítě při havarijním zapojení v ustáleném stavu

Při zapojení po výpadku jednoho či více zdrojů, nemůže být splněna podmínka počtu uzlů $n-1$. Tuto podmínku není při havarijním zapojení sítě nutno dodržovat. Sít' je i při tomto zapojení v ustáleném stavu a počítá se stejným způsobem jako v bezporuchovém stavu.

Při napájení uzlu postiženého výpadkem napětí musíme kontrolovat zatížení jednotlivých transformátorů i zatížení vedení. Transformátory i vedení lze dočasně provozovat i na vyšší než jmenovitý výkon a proudy. Dlouhodobé přetěžování není přípustné. Podrobnější popis havarijního zálohování je uveden v kapitole 6.2.

6. Stanovení provozních podmínek pro havarijní zálohování

6.1. Provoz elektrizačních soustav

Elektrizační soustavy slouží k přenosu a rozvodu elektrické energie z místa výroby až do místa spotřeby. [2] Elektrizační soustava je složená ze soustav přenosových a distribučních.

Přenosové soustavy jsou používány především pro přenos velkých výkonů mezi hlavními uzly, to znamená i pro napájení hlavních uzlů sítě 110 kV. Distribuční soustavy rozdělují elektrickou energii z napájecího uzlu do určitých oblastí nebo skupin spotřebičů.

Aby elektrizační soustava mohla plnit úkoly, které jsou pro ni určeny z rozvoje hospodářství, musí tato soustava jako celek i její jednotlivé části plnit tyto požadavky co nejlepším způsobem:

- Zajistit bezpečnost osob
- Zajistit spolehlivou, dostatečnou a kvalitní dodávku elektrické energie
- Snížit nároky na práci v provozu a v údržbě soustavy
- Pracovat s vysokou účinností
- Pracovat s vyššími parametry a větším počtem zdrojů a stanic
- Snažit se využívat odpadního tepla
- Umožnit řízení odběru elektrické energie
- Mít co nejmenší materiálovou náročnost
- Zamezit nepříznivým vlivům soustavy na okolí

6.2. Předpoklady pro návrh a vyhodnocení modelů havarijního zálohování

Pro vytváření modelů havarijního zálohování nepředpokládáme výpadek více než jednoho uzlu sítě 110 kV. Pro zálohování budeme vždy vycházet z předpokladů, že výpadek se dotkne jednoho z transformátorů, který napájí elektrickou energií danou oblast nebo totální výpadek tohoto uzlu. Ostatní předávací místa v přenosové soustavě jsou ve standardním a provozuschopném stavu. Ve standardním stavu zůstanou také všechna zařízení vvn v distribuční soustavě.

Při výpadku uzlu předpokládáme, že žádné významné zdroje elektrické energie nezůstanou v ostrovním provozu. Ovšem menší výroby elektrické energie tento výpadek postihne, to znamená, že přestanou dodávat elektrickou energii do sítě a musíme s touto sníženou dodávkou počítat. V programu Daisy tento výpadek provedeme přepsáním bilancí výkonů nebo odpojením zdroje. Bilance výkonů jsou uvedeny v tabulce č. 6.1. Hodnoty výroby elektrické energie, tedy bilanci energií uvažujeme z měření dne 21.1.2011 v 17 hodin.

Pokud dojde k totálnímu výpadku jednoho předávací místa v přenosové soustavě, musíme tuto postiženou oblast napájet elektrickou energií z jiných oblastí. První možností nahrazení dodávky elektrické energie je přivedení ze sousedních oblastí, protože při stávajícím stavu nejsou transformátory ani vedení zatěžovány na jmenovitý výkon, ale mají docela velké rezervy. Další z možností jsou standardní výpomocné dodávky ze sousedních REAS a přeshraniční dodávky na úrovni vvn. V krajních případech je přípustné úplně přerušit dodávky do sousedních REAS a přeshraniční dodávky na úrovni vvn po domluvě s příslušným provozovatelem sítě.

Pokud se bude jednat o dodávky ze sousedních oblastí, budou tyto dodávky hrazeny z distribuční sítě společnosti EON. Pokud se jedná o druhý způsob výpomocné dodávky, a to přeshraniční dodávky na úrovni vvn, bude to realizováno ze sítí vvn ze Slovenska a Polska. Na Slovensku se jedná o dodavatelskou energetickou společnost Stredoslovenská energetika (SSE). Z této oblasti je elektrická energie dodávána přes rozvodny Čadca, Varín a Povážská Bystrica. Z Polska jsou přeshraniční dodávky vvn provedeny z rozvodůn Ustroń, Mniszstwo a Pogwizdów.

U vyhodnocení každého modelu je sledováno zatížení transformátorů a vedení. Jsou uvedena pouze ta vedení, která souvisí s výpadkem postižené oblasti. Tato zatížení jsou u každé rozvodny 110 kV uvedena v tabulkách. U transformátorů je vždy uváděn zdánlivý výkon S_n , zatížení v procentech vypočítané programem PAS Daisy a z těchto hodnot je vypočítáno zatížení v MVA. U vedení je uveden maximální proud I_{\max} , kterým můžeme zatěžovat dané vedení, hodnota zatížení v procentech vypočítané programem PAS Daisy a z těchto hodnot je vypočítán proud vedením v ampérech. V kapitole 6.3 je uveden jako příklad výpočtu proudu vedení V5609 z bilance uzlu. Maximální proudy uváděné u vedení jsou stanoveny při teplotě 40 °C. V tabulkách u vyhodnocení zapojení havarijního zálohování je uváděn i vybavovací proud ochrany. Po dohodě s konzultantem diplomové práce je uváděna pouze nižší hodnota proudu, protože v některých případech je velikost nastaveného vybavovacího proudu ochrany na každé straně vedení rozdílná.

6.3. Přehled přenosových transformátorů

Pro napájení hlavních distribučních oblastí z přenosové soustavy je použito transformátorů, které převádí na hladinu napětí 110 kV. Základní parametry jako jsou jmenovitý výkon, jmenovité napětí, jmenovitý proud, spojení vinutí, typ a výrobce jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Příklad výpočtu zatížení přenosového transformátoru T401 400/110 kV při stávajícím zatížení v rozvodně KRA

Jmenovitý výkon:

$$S_n = 350 \text{ MVA}$$

Činný výkon:

$$P = -77,5 \text{ MW}$$

Jalový výkon:

$$Q = 4,7 \text{ Mvar}$$

Zdánlivý výkon:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA; W, var)} \quad (6.1)$$

$$S = \sqrt{(-77,5)^2 + 4,7^2}$$

$$S = 77,642 \text{ MVA}$$

Výpočet procentuálního zatížení:

$$s_{\%} = \frac{S}{S_n} \cdot 100 \text{ (\%; VA, VA)} \quad (6.2)$$

$$s_{\%} = \frac{77,642}{350} \cdot 100$$

$$s_{\%} = 22,183 \div 22 \%$$

Příklad výpočtu zatížení vedení V5609 při stávajícím zatížení z bilance uzlu rozvodny HZI

Napětí na přípojnici C v rozvodně HZI:

$$U = 118,3 \text{ kV}$$

Činný výkon:

$$P = -22,3 \text{ MW}$$

Jalový výkon:

$$Q = -2,2 \text{ Mvar}$$

Zdánlivý výkon:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA; W, var)}$$

$$S = \sqrt{(-22,3)^2 + (-2,2)^2}$$

$$S = 22,408 \text{ MVA}$$

Výpočet proudu ve vedení:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ (VA; V, A)} \quad (6.3)$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \text{ (A; VA, V)} \quad (6.4)$$

$$I = \frac{22,408 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 118,3 \cdot 10^3}$$

$$I = 109,36 \text{ A}$$

6.4. *Bilance výkonů výroben nad 10 MW*

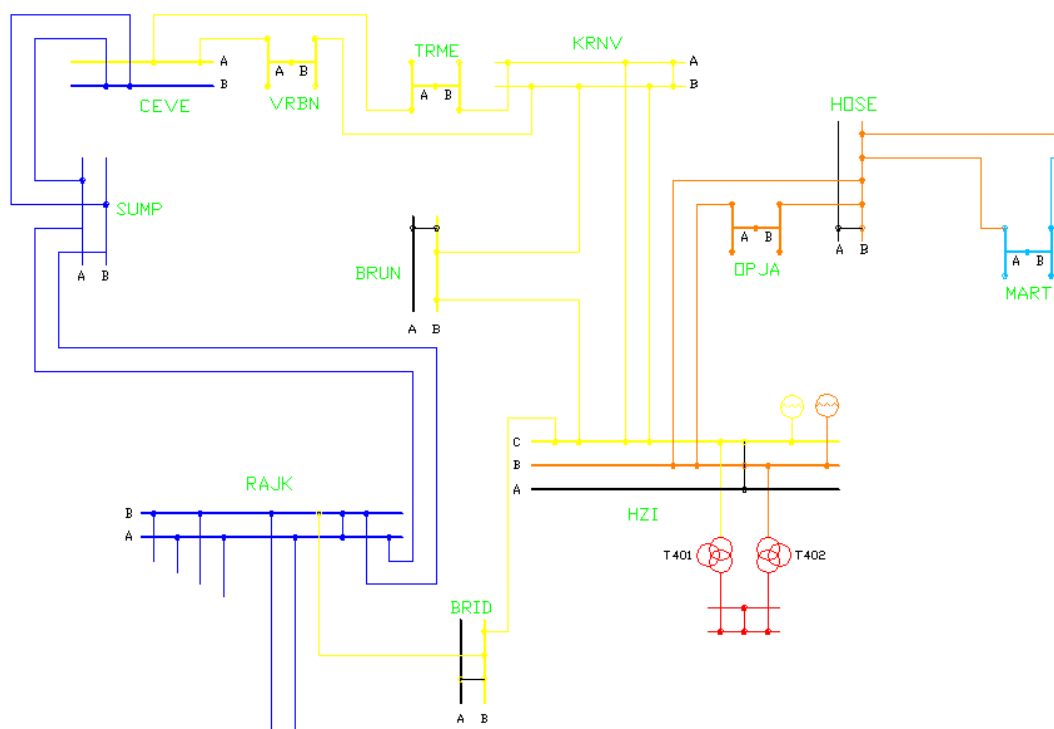
Tab. 6.1 Bilance výkonů

Název výroby	P _{inst}	P _{vyr}
	(MW)	(MW)
CSAR	24	21
TRZ2	44	37
ETBE	177	132
TKV	55	30
ELDE - blok č. 1	200	0
ELDE - blok č. 2	200	0
ELDE - blok č. 3	200	151
ELDE - blok č. 4	200	0
HDLN	54	30
DLUH	54	35

7. Vytvoření modelů pro havarijní zálohování při výpadku konkrétních uzlů PS, vyhodnocení výpočtů a stanovení konkrétních závěrů

7.1. Výpadek rozvodny Horní Životice

V rozvodně Horní Životice jsou dva transformátory 400/110 kV (T401, T402). V rozvodně HZI je umístěn vysílač signálu HDO na straně 110 kV. Vysílač HDO je možné umístit i na nižší hladiny distribuční soustavy, což je běžnější než na hladině 110 kV. V létě se provozuje pouze jeden ze dvou transformátorů, zatímco v zimě jsou v provozu oba transformátory. Z této rozvodny jsou napojeny dvě oblasti, z nichž každá oblast je připojena na jednu přípojnicí. Přenosový transformátor T401 napájí oblast, která je znázorněna žlutou barvou a přenosový transformátor T402 napájí oblast, která je znázorněna oranžovou barvou. Pro určení havarijního zálohování sítě 110 kV vycházím ze zimního měření, které bylo provedeno 21.1.2011 v 17 hodin.



Obr. 7.1 Schéma oblasti napájené z rozvodny HZI – stávající stav

7.1.1. Výpadek transformátoru T401

Při výpadku transformátoru T401 je možnost připojit poškozenou oblast na transformátor T402. Zatížení transformátoru T402 bude 80 % z původního zatížení 41 %.

Veškeré zatížení vedení je z hlediska dovoleného zatížení vedení vyhovující a žádné z vedení není přetěžováno. Při výpadku budou spojeny přípojnice B a C.

Pokud dojde k výpadku transformátoru T401, je nutno pro tuto oblast elektrické sítě 110 kV, která je tímto výpadkem zasažena, zajistit obnovení dodávky elektrické energie z jiného zdroje. Oblast napájena z transformátoru T401 je v modelu sítě znázorněna žlutou barvou. Při obnově dodávky je příčným spínačem přípojníc propojena přípojnice B s přípojnící C, která bude zásobovat poškozenou oblast. Při manipulaci je důležité nejprve sepnout na přípojnících odpojovače, které nesmí být sepnuty při zatížení. Následně je sepnut výkonový spínač na příčném spínači přípojníc. Při havarijním napájení je zásobována oblast znázorněna oranžovou barvou.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T401 v rozvodně HZI je v příloze č. 2.

7.1.2. Výpadek transformátoru T402

Při výpadku transformátoru T402 je možnost připojit poškozenou oblast na transformátor T401. Zatížení transformátoru T401 bude 80 % z původního zatížení 37 %. Veškeré zatížení vedení je z hlediska dovoleného zatížení vedení vyhovující a žádné z vedení není přetěžováno. Při výpadku budou spojeny přípojnice B a C.

Pokud dojde k výpadku transformátoru T402, je nutno pro tuto oblast elektrické sítě 110 kV, která je tímto výpadkem zasažena, zajistit obnovení dodávky elektrické energie z jiného zdroje. Oblast napájena z transformátoru T402 je v modelu sítě znázorněna oranžovou barvou. Při obnově dodávky je příčným spínačem přípojníc propojena přípojnice C s přípojnící B, která bude zásobovat poškozenou oblast. Při manipulaci je důležité nejprve sepnout na přípojnících odpojovače, které nesmí být sepnuty při zatížení. Následně je sepnut výkonový spínač na příčném spínači přípojníc. Při havarijním napájení je zásobována oblast znázorněna žlutou barvou.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T402 v rozvodně HZI je v příloze č. 3.

7.1.3. Výpadek přenosové soustavy v oblasti HZI

Při výpadku přenosové soustavy 400 kV je nutno nejprve vypnout transformátory na straně 110 kV, aby nedošlo k toku výkonu do přenosové soustavy. Při havarijním zálohování je zachováno rozdělení napájených oblastí. Přípojnice B je napájena z jednoho zdroje a přípojnice C je napájena z druhého zdroje. Vysílač signálu HDO v rozvodně HZI musí být zapojen.

a) Zálohování soustavy se zapojenými generátory

Zásobována oblast, která je připojena na přípojnici B, bude napájena z rozvodny KRA. Rozvodna HZI bude napájena jak z rozvodny RAJK, tak z rozvodny KRVN, aby vedení bylo zokruhováno a bylo vyšší napětí na přípojnici B. V modelu sítě je tato oblast znázorněna tmavě modrou barvou. Pokud by tato oblast byla napájena pouze z jedné strany, bylo by na přípojnici B v rozvodně HZI malé napětí a také vedení by bylo značně přetěžováno. Poté co je spojena spojka v rozvodně CEVE, provoz bude obnoven, ale na přípojnici B bude malé napětí a budou přetěžována vedení V595a a V596a. Z tohoto důvodu je výhodnější napájení z obou stran. V rozvodně CEVE je zapnut příčný spínač přípojnic a v rozvodně RAJK je zapojeno na přípojnici B vedení V597.

Zásobovaná oblast, která je připojena na přípojnici C, bude napájena z rozvodny ETBE a z rozvodny NOS. V modelu sítě je tato oblast znázorněna modrou barvou. Po připojení přípojnice C přes vedení V681 a V682a vyhovuje jak zatížení těchto vedení, tak i požadovaná hladina napětí na přípojnici C. Zatížení transformátoru T401, který je v rozvodně NOS, je 90 %. Původní zatížení tohoto transformátoru bylo 44 %. Toto havarijní zapojení je na prvotní záchranu dobré, ale zálohovaná oblast je připojena na generátory elektráren Dětmárovice a Třebovice. Zapojení způsobuje problém se signálem HDO, protože generátory utlumují tento signál. V bodě b) je zpracováno takové zapojení sítě, aby v něm nebyly již zmiňované generátory.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku přenosové soustavy v rozvodně HZI a zapojených generátorech je v příloze č. 4.

b) Zálohování soustavy bez zapojených generátorů

Zásobována oblast, která je připojena na přípojnici B, je zapojena stejným způsobem jako v případě a).

Zásobována oblast, která je připojena na přípojnici C, bude napájena z rozvodny ETBE a z rozvodny LIS. V modelu sítě je tato oblast znázorněna tyrkysovou barvou. Po připojení přípojnice C přes vedení V681 a V682a vyhovuje jak zatížení těchto vedení, tak i požadovaná hladina napětí na přípojnici C. Z rozvodny ETBE je přes vedení V615 a V616 připojeno na rozvodnu LIS. Zatížení transformátoru T203, který je v rozvodně LIS, je 60 %. Původní zatížení tohoto transformátoru bylo 41 %. Aby do sítě nebyly zapojeny generátory, které jsou zdrojem rušení signálu HDO, je síť přemanimulována tak, aby byly generátory přepojeny na jiné přípojnice. Na přípojnici A v rozvodně LIS byl zapojen generátor rozvodny BIOČ. Tento generátor je pomocí výkonového spínače přepojen na přípojnici B. V rozvodně ETBE je využita nezapojená přípojnice A, která je spojena přes vedení V615 a V616 k rozvodně LIS. K rozvodně HZI je připojena pomocí vedení V681 a V682a rozvodna ETBE. Tímto způsobem

je dosaženo zapojení, v němž nejsou zapojeny generátory. Veškerá napětí na rozvodnách jsou v dovolené toleranci a zatížení vedení je vyhovující.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku přenosové soustavy v rozvodně HZI a bez zapojených generátorů je v příloze č. 5.

7.1.4. Vyhodnocení modelů havarijního zálohování

Tab. 7.1 Zatížení vedení – výpadek rozvodny HZI

č. vedení	Zatížení vedení											Vybavovací proud ochrany
	I _{max}	Stávající		Výpadek T401 HZI		Výpadek T402 HZI		Výpadek přenosové soustavy zapojené generátory		Výpadek přenosové soustavy odpojené generátory		
								(%)	(A)	(%)	(A)	
	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(A)
V5609	455	24	109	25	114	25	114	5	23	5	23	720
V5610	455	24	109	25	114	25	114	5	23	5	23	720
V5606	530	24	127	24	127	24	127	13	69	13	69	850
V599	455	9	41	9	41	9	41	4	18	4	18	720
V685	455	22	100	23	105	23	105	6	27	6	27	546
V686	455	20	91	20	91	20	91	5	23	5	23	546
V5608	455	13	59	14	64	14	64	12	55	12	55	546
V5605	455	13	59	13	59	13	59	16	73	16	73	543
V5602a	530	1	5	1	5	1	5	24	127	24	127	910
V5601a	530	2	11	2	11	2	11	22	117	22	117	910
V5602b	530	2	11	2	11	2	11	24	127	24	127	910
V5601b	530	5	27	5	27	5	27	28	148	28	148	910
V595a	455	30	137	30	137	30	137	57	259	57	259	790
V595b	455	17	77	17	77	17	77	44	200	44	200	790
V596a	455	23	105	23	105	23	105	51	232	51	232	790
V596b	455	23	105	23	105	23	105	51	232	51	232	790
V591	455	40	182	40	182	40	182	65	296	65	296	728
V592	455	39	177	39	177	39	177	64	291	64	291	728
V593	680	29	197	29	197	29	197	48	326	48	326	1080
V594	680	29	197	29	197	29	197	48	326	48	326	1080
V688	455	52	237	53	241	53	241	8	36	8	36	728
V689	455	54	246	55	250	55	250	6	27	6	27	820
V687	455	25	114	25	114	25	114	26	118	25	114	728
V681	455	16	73	16	73	16	73	61	278	59	268	765
V682a	455	1	5	1	5	1	5	70	319	68	309	728
V683a	455	0	0	0	0	0	0	44	200	42	191	728
V683b	455	1	5	1	5	1	5	44	200	43	196	728
V615	530	32	170	32	170	32	170	73	387	54	286	825
V616	530	32	170	32	170	32	170	73	387	54	286	825
V637a	920	26	239	26	239	26	239	56	515	22	202	1440
V637b	820	29	238	29	238	29	238	62	508	25	205	1480
V638a	920	24	221	24	221	24	221	54	497	20	184	1440
V638b	820	35	287	35	287	35	287	68	558	31	254	1480
V614	530	1	5	1	5	1	5	1	5	42	223	825
V647	505	24	121	24	121	24	121	45	227	31	157	1090
V600	455	21	96	22	100	22	100	26	118	26	118	1090
V597	455	2	9	1	5	1	5	49	223	49	223	820

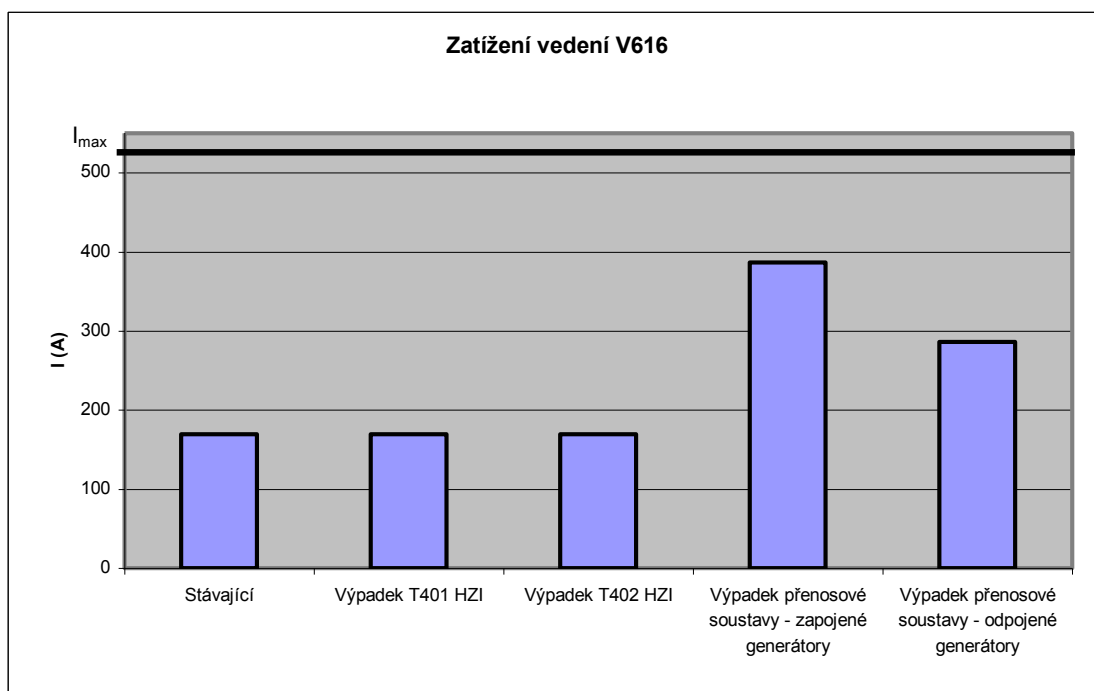
Tab. 7.2 Zatížení transformátorů – výpadek rozvodny HZI

Rozvodna	č. TR	Zatížení transformátorů										
		S _n	Stávající		Výpadek T401 HZI		Výpadek T402 HZI		Výpadek přenosové soustavy zapojené generátory		Výpadek přenosové soustavy odpojené generátory	
(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)		
HZI	T401	250	37	93	0	0	80	200	0	0	0	0
HZI	T402	250	41	103	80	200	0	0	0	0	0	0
KRA	T401	350	22	77	22	77	22	77	36	126	36	126
KRA	T402	350	24	84	24	84	24	84	39	137	39	137
KRA	T403	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIS	T202	200	40	80	40	80	40	80	40	80	45	90
LIS	T203	200	41	82	41	82	41	82	41	82	60	120
LIS	T204	200	52	104	52	104	52	104	52	104	88	176
NOS	T401	250	44	110	44	110	44	110	90	225	38	95
NOS	T402	250	30	75	30	75	30	75	30	75	30	75

Při výpadku jednoho z přenosových transformátorů T401 nebo T402 havarijní zálohování je provedeno tak, že poškozená oblast je napájena z druhého transformátoru. V tomto případě není nutné provádět žádná odlehčení sítě.

V případě výpadku přenosové soustavy v oblasti rozvodny HZI je nutno postiženou oblast napájet z jiných uzlových oblastí. Oblast, která je na přípojnici B, bude napájena z rozvodny KRA. Druhá oblast připojena na přípojnici C bude v případě, že nejsou zapojeny generátory, napájena z rozvodny LIS a v případě, že jsou zapojeny generátory z rozvodny NOS.

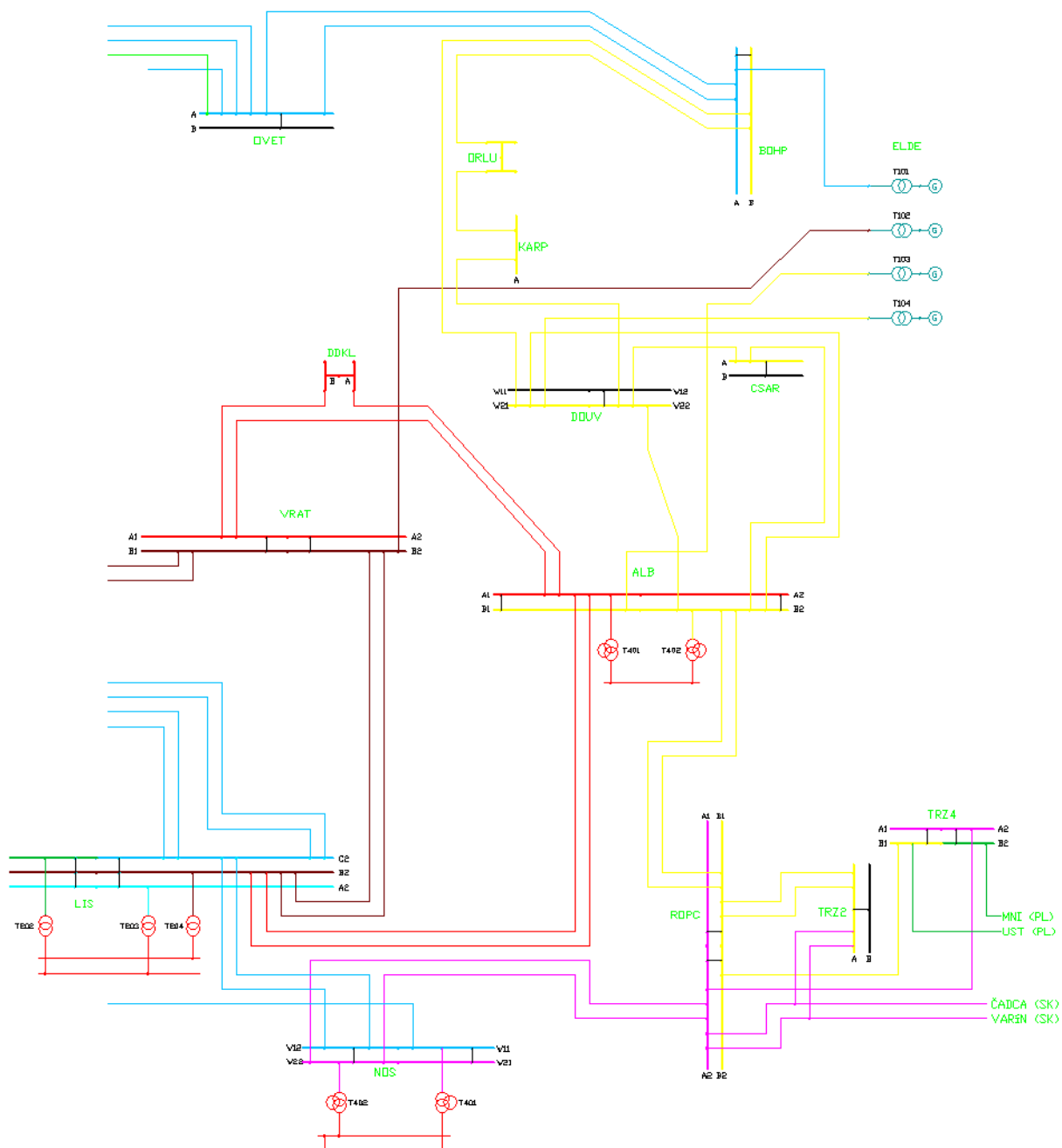
Pro výpadek rozvodny HZI je jako příklad uveden graf zatížení vedení V616, který je na obr. 7.2. Zatížení vedení je uvedeno jak pro stávající stav, tak pro všechny havarijní stavy. Je uveden maximální proud $I_{\max} = 530$ A, kterým může být zatěžováno vedení. Jak je patrné z grafu nárůst zatížení vedení se projeví v tomto případě až při výpadku celé přenosové soustavy.



Obr. 7.2 Zatížení vedení V616

7.2. Výpadek rozvodny Albrechtice

V rozvodně Albrechtice jsou dva transformátory 400/110 kV (T401, T402). Z této rozvodny jsou napojeny dvě oblasti, z nichž každá oblast je připojena na jednu přípojnicí. Přenosový transformátor T401 napájí oblast, která je znázorněna červenou barvou a přenosový transformátor T402 napájí oblast, která je znázorněna žlutou barvou. Pro určení havarijního zálohování sítě 110 kV vycházím ze zimního měření, které bylo provedeno 21.1.2011 v 17 hodin.



Obr. 7.3 Schéma oblasti napájené z rozvodny ALB – stávající stav

7.2.1. Výpadek transformátoru T401

Při výpadku transformátoru T401 nebude zásobována oblast, která je v modelu vyznačena červenou barvou. Tento výpadek nahradíme z druhého přenosového transformátoru T402. Je nutno spojit přípojnice A a B příčnou spojkou přípojníc. Touto manipulací je zapojena oblast, která byla postižena výpadkem dodávky elektrické energie.

Zatížení transformátoru T402 bude 33 %, což je vyhovující. Zatížení je poměrně malé, protože je velká výroba elektrické energie, a to zejména ze 3. bloku elektrárny Dětmorovice, viz. tabulka 6.1.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T401 v rozvodně ALB je v příloze č. 6.

7.2.2. Výpadek transformátoru T402

Při výpadku transformátoru T402 dojde k výpadku výroby elektrické energie z dalších zdrojů, jako jsou teplárny, kogenerační jednotky atd. Tato oblast je ve schématu znázorněna žlutou barvou. Synchronní generátory těchto výroben z důvodu výpadku transformátoru T402 vypadnou ze synchronizmu a přeruší se dodávka elektrické energie. V diplomové práci je zahrnut výpadek zdrojů, které mají výkon 10 MW a více. Je uvažováno s výpadkem těchto zdrojů: TKV, CSAR, 3. blok elektrárny Dětmorovice a TRZ2. V modelu je výpadku těchto zdrojů docíleno tím, že TKV a 3. blok elektrárny Dětmorovice se vypne. U zdroje CSAR je přepsána bilance činného výkonu v bilanci uzlu, která byla $P = 2 \text{ MW}$, na hodnotu $P = 23 \text{ MW}$. Výroba generátorů v Třineckých železárnách je 33 MW, proto je původní hodnota činného výkonu v bilanci uzlu, která byla $P = -1 \text{ MW}$, přepsána na hodnotu $P = 32 \text{ MW}$. Bilance výkonu jsou uvedeny v tabulce č. 6.1.

Pokud by byl řešen výpadek spojením přípojníc A a B příčnou spojkou přípojníc, bylo by zatížení transformátoru T401 127 %, což je pro trvalý chod nepřipustné.

Část sítě je zásobována z rozvodny BOHP. V rozvodně BOHP jsou spojeny přípojnice A a B příčnou spojkou přípojníc a následně musí být vypnuta vedení V629 a V695, která byla připojena na přípojnic B. Konzumní transformátor T101 je připojen na přípojnic B. Přenosový transformátor T401 v rozvodně NOS z hlediska zatížení vyhovuje viz. tabulka 7.4. Tato část, která byla postižena výpadkem transformátoru T402, je v modelu znázorněna modrou barvou.

Zbývá část sítě je zásobována z rozvodny ROPC. V modelu je znázorněna červenou barvou. Konzumní transformátor T103 je přepojen na přípojnic A v rozvodně ROPC, která je napájena z transformátoru T402 v rozvodně NOS. Dále je nutno převést vedení V663 a V664 na přípojnic B. Zatížení transformátoru T401 v rozvodně ALB je 75 %.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T402 v rozvodně ALB je v příloze č. 7.

7.2.3. Výpadek přenosové soustavy v oblasti ALB

Při výpadku přenosové soustavy 400 kV je nutno nejprve vypnout transformátory na straně 110 kV, aby nedošlo k toku výkonu do přenosové soustavy.

Vedení V611 a V612 zapneme na přípojnici B2 v rozvodně LIS. V rozvodně VRAT jsou spojeny přípojnice A a B příčnou spojkou přípojníc. Tím napájení přípojnice A v rozvodně ALB je zokruhováno, tzn. je napájeno z rozveden LIS a VRAT. Konzumní transformátory T101 a T102 v rozvodně LIS jsou převedeny z přípojnice B na přípojnici A, která je napájena z transformátoru T203. Tato část zásobované oblasti je znázorněna hnědou barvou.

V rozvodně BOHP jsou spojeny přípojnice A a B příčnou spojkou přípojníc. Tato rozvodna je napájena z transformátoru T401 v rozvodně NOS. V rozvodně DOUV připojíme DLZY a konzumní transformátor T101. Tato oblast je znázorněna modrou barvou.

Poslední část, která je znázorněna růžovou barvou, bude zásobována z transformátoru T402 v rozvodně NOS. V rozvodně ROPC jsou spojeny přípojnice A a B příčnou spojkou přípojníc.

Na transformátoru T401 v NOS je provedena změna odbočky, a to z důvodu zvýšení napětí na sekundární straně transformátoru. Původně nastavená odbočka 14 byla změněna na odbočku 12.

Při výpadku přenosové soustavy, která napájí rozvodnu ALB, je možno využít přerušení dodávky do sousedních REAS a přeshraniční dodávky na úrovni vvn. V tomto případě není nutné tohoto opatření využít. Pokud by bylo nutné dodávky přerušit, bylo by to provedeno vypnutím vedení V604 v rozvodně Čadca a V603 v rozvodně Varín.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku přenosové soustavy v rozvodně ALB je v příloze č. 8.

7.2.4. Vyhodnocení modelů havarijního zálohování

Tab. 7.3 Zatížení vedení – výpadek rozvodny ALB

č. vedení	Zatížení vedení									Vybavo vací proud ochrany
	I _{max}	Stávající		Výpadek T401 ALB		Výpadek T402 ALB		Výpadek přenosové soustavy		
		(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	
V611	455	1	5	1	5	1	5	26	118	820
V612	455	1	5	1	5	1	5	26	118	820
V601	820	13	107	13	107	3	25	9	74	1080
V602	820	13	107	13	107	3	25	9	74	1080
V5691	455	30	137	30	137	72	328	85	387	820
V5692	455	30	137	30	137	72	328	85	387	820
V637a	920	26	239	26	239	37	340	57	524	1440
V637b	820	29	238	29	238	42	344	64	525	1480
V638a	920	24	221	24	221	35	322	55	506	1440
V638b	820	35	287	35	287	48	394	70	574	1480
V645	530	12	64	13	69	13	69	6	32	960
V646	530	12	64	12	64	13	69	8	42	960
V677	530	11	58	11	58	11	58	10	53	960
V641	820	18	148	18	148	18	148	28	230	1480
V642	820	18	148	18	148	18	148	28	230	1480
V629	455	48	218	48	218	0	0	39	177	810
V695	455	5	23	5	23	0	0	41	187	810
V630	455	12	55	12	55	18	82	23	105	810
V678	455	53	241	54	246	59	268	19	86	820
V674	530	23	122	23	122	18	95	3	16	960
V694	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	2890
V673	530	20	106	20	106	3	16	11	58	960
V614	530	1	5	1	5	1	5	1	5	825
V615	530	32	170	32	170	47	249	75	398	825
V616	530	32	170	32	170	47	249	75	398	825
V647	505	24	121	24	121	32	162	45	227	1090
V648	505	13	66	13	66	20	101	34	172	910
V640	530	16	85	16	85	14	74	18	95	-
V633	820	10	82	10	82	22	180	44	361	1320
V634	820	10	82	10	82	22	180	44	361	1350
V5641	400	0	0	0	0	0	0	0	0	420
V5642	530	15	80	15	80	15	80	15	80	850
V631	820	0	0	0	0	12	98	34	279	1270
V632	820	0	0	0	0	12	98	34	279	1440

Tab. 7.4 Zatížení transformátorů– výpadek rozvodny ALB

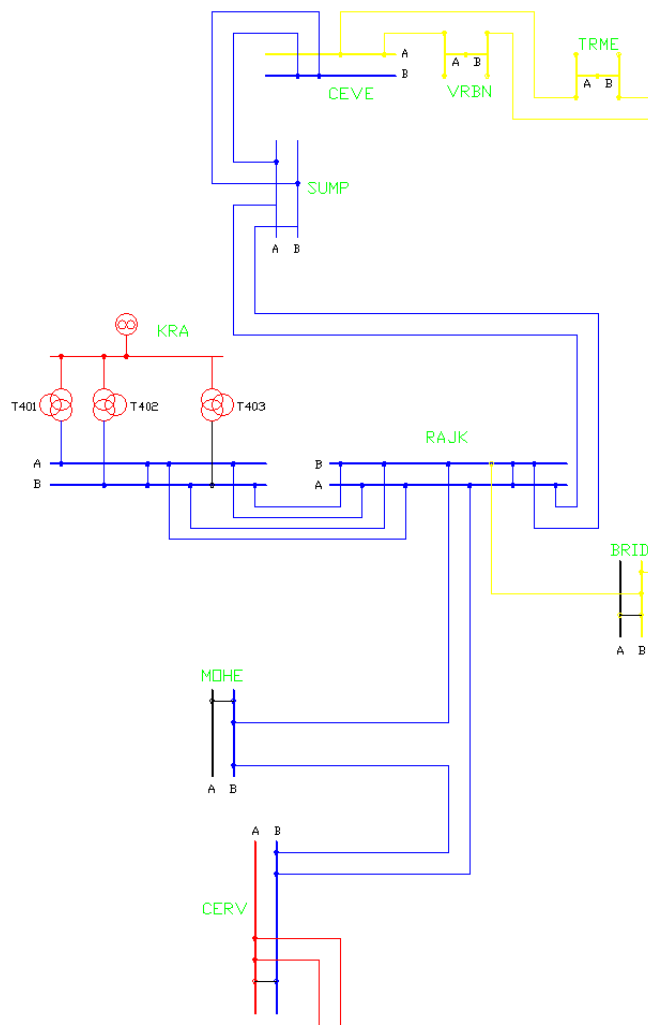
Rozvodna	č. TR	Zatížení transformátorů								
		S _n	Stávající		Výpadek T401 ALB		Výpadek T402 ALB		Výpadek přenosové soustavy	
		(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)
ALB	T401	250	27	68	0	0	75	188	0	0
ALB	T402	250	19	48	33	83	0	0	0	0
NOS	T401	250	44	110	44	110	61	153	92	230
NOS	T402	250	30	75	30	75	62	155	72	180
LIS	T202	200	40	80	40	80	40	80	40	80
LIS	T203	200	41	82	41	82	41	82	60	120
LIS	T204	200	52	104	52	104	52	104	77	154

Při výpadku transformátoru T401 je zálohování provedeno tak, že poškozená oblast je napájena z druhého transformátoru T402. Pokud vypadne transformátor T402, nelze havarijní zálohování provést jako u transformátoru T401, protože druhý transformátor by byl přetěžován. V tomto případě je nutno provést odlehčení zátěže.

V případě výpadku přenosové soustavy v oblasti rozvodny ALB je nutno postiženou oblast napájet z jiných uzlových oblastí. Postižené oblasti jsou napájeny z rozveden NOS a LIS.

7.3. Výpadek rozvodny Krasíkov

V rozvodně Krasíkov jsou tři transformátory 400/110 kV (T401, T402, T403). V provozu jsou jen dva transformátory, a to T401 a T402, které jsou v můstkovém zapojení, tzn. jsou provozovány paralelně. Tyto dva přenosové transformátory T401 a T402 napájejí oblast, která je znázorněna tmavě modrou barvou. Pro určení havarijního zálohování sítě 110 kV vycházím ze zimního měření, které bylo provedeno 21.1.2011 v 17 hodin.



Obr. 7.4 Schéma oblasti napájené z rozvodny KRA – stávající stav

7.3.1. Výpadek transformátoru T401

Při výpadku transformátoru T401 nedojde k výpadku dodávky elektrické energie, protože transformátory jsou v můstkovém zapojení. Zatížení přebere druhý transformátor T402, který bude zatěžován na 45 % z původního zatížení 24 %. V tomto případě není nutné provádět žádné manipulace. Zásobovaná oblast je stejná jako při stávajícím stavu a je znázorněna tmavě modrou barvou.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T401 v rozvodně KRA je v příloze č. 9.

7.3.2. Výpadek transformátoru T402

Při výpadku transformátoru T402 je situace stejná jako při výpadku transformátoru T401. Zatížení přebere transformátor T 401, který bude zatěžován na 45 % z původního zatížení 22 %.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T402 v rozvodně KRA je v příloze č. 10.

7.3.3. Výpadek přenosové soustavy v oblasti KRA

Při výpadku přenosové soustavy 400 kV je nutno nejprve vypnout transformátory na straně 110 kV, aby nedošlo k toku výkonu do přenosové soustavy. Havarijní zálohování bude provedeno ze dvou oblastí.

První oblast je napájena z uzlu PRN z transformátorů T201 a T202, jelikož jsou zapojeny paralelně. V rozvodně RAJK je potřeba vše pro zásobování oblasti, která je ve schématu znázorněna červenou barvou, přepojit na přípojnicí A. Je nutné přepojit vedení V592, V594 a V588. Dále se musí přepojit transformátor T101 na přípojnicí A, aby byly zapojeny veškeré konzumní transformátory na této přípojnicí.

Druhá oblast, která je ve schématu znázorněna žlutou barvou, je napájena z rozvodny HZI z transformátoru T401. Na přípojnicí B v rozvodně RAJK je nutno přepojit vedení V595. V rozvodně CEVE je provedeno spojení přípojníc A a B příčným spínačem přípojníc, tím je docíleno spojení zásobované oblasti, která byla postižena výpadkem elektrické energie. Nakonec je zapnuto vedení V597 pro napájení oblasti jak z rozvodny CEVE, tak z rozvodny BRID. Zapnutím vedení V597 jsme dosáhli napájení přípojnice A v rozvodně RAJK ze dvou stran.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku přenosové soustavy v rozvodně KRA je v příloze č. 11.

7.3.4. Vyhodnocení modelů havarijního zálohování

Tab. 7.5 Zatížení vedení – výpadek rozvodny KRA

č. vedení	Zatížení vedení									Vybavovací proud ochrany
	I _{max}	Stávající		Výpadek T401 KRA		Výpadek T402 KRA		Výpadek přenosové soustavy		
		(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	
V592	455	39	177	39	177	40	182	1	5	728
V591	455	40	182	40	182	40	182	1	5	728
V594	680	29	197	29	197	30	204	0	0	1080
V593	680	29	197	29	197	30	204	0	0	1080
V588	505	34	172	34	172	35	177	7	35	910
V572	505	14	71	14	71	15	76	28	141	1090
V587	505	38	192	38	192	39	197	26	131	910
V585a	505	2	10	2	10	2	10	56	283	1090
V585b	505	16	81	16	81	16	81	70	354	1090
V586a	505	3	15	3	15	3	15	51	258	1090
V586b	505	27	136	27	136	27	136	82	414	1090
V554	530	34	180	34	180	34	180	72	382	960
V553	530	34	180	34	180	34	180	72	382	960
V583	505	3	15	3	15	3	15	3	15	910
V584	505	25	126	25	126	25	126	56	283	910
V570	505	5	25	5	25	5	25	36	182	910
V581	505	17	86	17	86	17	86	26	131	910
V582	505	17	86	17	86	17	86	26	131	910
V597	455	2	9	2	9	2	9	35	159	820
V600	455	21	96	21	96	21	96	57	259	1090
V595a	455	30	137	30	137	30	137	21	96	790
V595b	455	17	77	17	77	17	77	7	32	790
V596a	455	23	105	23	105	24	109	14	64	790
V596b	455	23	105	23	105	24	109	14	64	790
V5601a	530	2	11	2	11	2	11	10	53	910
V5601b	530	5	27	5	27	5	27	4	21	910
V5602a	530	1	5	1	5	1	5	8	42	910
V5602b	530	2	11	2	11	2	11	8	42	910
V5605	455	13	59	13	59	13	59	24	109	543
V5608	455	13	59	13	59	13	59	23	105	546
V685	455	22	100	22	100	22	100	34	155	546
V686	455	20	91	20	91	20	91	30	137	546
V5609	455	24	109	24	109	24	109	32	146	720
V5610	455	24	109	24	109	24	109	32	146	720
V599	455	9	41	9	41	9	41	14	64	720
V5606	530	24	127	24	127	24	127	28	148	850

Tab. 7.6 Zatížení transformátorů – výpadek rozvodny KRA

Rozvodna	č. TR	Zatížení transformátorů								
		S_n	Stávající		Výpadek T401 KRA		Výpadek T402 KRA		Výpadek přenosové soustavy	
		(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)
KRA	T401	350	22	77	0	0	45	158	0	0
KRA	T402	350	24	84	45	158	0	0	0	0
KRA	T403	350	0	0	0	0	0	0	0	0
HZI	T401	250	37	93	37	93	37	93	59	148
HZI	T402	250	41	103	41	103	41	103	41	103
PRN	T201	200	60	120	60	120	60	120	90	180
PRN	T202	200	60	120	60	120	60	120	89	178

V rozvodně KRA jsou transformátory T401 a T402 zapojeny v můstkovém zapojení. Při výpadku jednoho z těchto transformátorů není třeba provádět žádné manipulace a zatížení přebere druhý transformátor.

V případě výpadku přenosové soustavy v oblasti rozvodny KRA je nutno postiženou oblast napájet z jiných uzlových oblastí. Oblasti postižené výpadkem budou napájeny z rozvodu HZI a PRN.

7.4. Výpadek rozvodny Prosenice

V rozvodně Prosenice jsou dva transformátory 220/110 kV (T201 a T202). V provozu jsou oba transformátory, které jsou provozovány paralelně. V normálním provozu je zásobována jedna oblast napojena na přípojnicí A, která je napájena transformátory T201 a T202 a je znázorněna červenou barvou. Přípojnice B je odpojena. Pro určení havarijního zálohování sítě 110 kV vycházím ze zimního měření, které bylo provedeno 21.1.2011 v 17 hodin.

7.4.1. Výpadek transformátoru T201

a) Výpadek transformátoru T201 – bez odlehčení zátěže

Při výpadku transformátoru T201 nedojde k výpadku dodávky elektrické energie, protože transformátory jsou provozovány paralelně. Transformátor T202 přebere zatížení, avšak tento transformátor bude zatěžován na 123 %. Jelikož je T202 přetěžován, nelze provozovat toto zapojení trvale. Toto přetížení transformátor vydrží, ale je nutné hlídat zejména oteplení transformátoru. Při dosažení určité teploty je nutno transformátor odpojit. Proto je nutné co nejrychleji odlehčit zátěž, aby bylo takové zatížení, při kterém je možno transformátor trvale provozovat.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T201 v rozvodně PRN a bez odlehčení zátěže je v příloze č. 12.

b) Výpadek transformátoru T201 – s odlehčením zátěže

Aby transformátor T202 nebyl přetěžován, je provedeno odlehčení zátěže. Rozvodna OLCS je přepojena na uzlovou oblast KRA, která je ve schématu znázorněna tmavě modrou barvou. Nejprve jsou spojeny přípojnice A a B příčným spínačem přípojníc v rozvodně CERV. Zde je nutné toto spojení přípojníc provést jako první, protože kdyby tomu tak nebylo, došlo by k přerušení dodávky elektrické energie v rozvodně OLCS. Následně jsou vypnuta vedení V585 a V586.

Další odlehčení zátěže je provedeno v rozvodně HRNE. Konzumní transformátory T101 a T103 jsou převedeny na přípojnici B, která je napájena z uzlové oblasti NOS z transformátoru T401.

Tím je dosaženo zatížení transformátoru T202 v rozvodně PRN 80 %, což je zatížení, při kterém lze transformátor trvale provozovat.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T201 v rozvodně PRN a s odlehčením zátěže je v příloze č. 13.

7.4.2. Výpadek transformátoru T202

Při výpadku transformátoru T202 je situace úplně stejná jako při výpadku T201. Je to z toho důvodu, že transformátory jsou provozovány paralelně. Popis zálohování je v kapitole 7.4.1 b).

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T202 v rozvodně PRN a s odlehčením zátěže je v příloze č. 14.

7.4.3. Výpadek přenosové soustavy v oblasti PRN

Při výpadku přenosové soustavy 220 kV je nutno nejprve vypnout transformátory na straně 110 kV, aby nedošlo k toku výkonu do přenosové soustavy.

Při výpadku přenosové soustavy dojde k výpadku výroby elektrické energie z dalších zdrojů. Tento výpadek se dotkne teplárny Hodolany a teplárny Dluhonice. V modelu jsou vypnuty tyto dodávky elektrické energie.

Pro havarijní zálohování je možno využít i standardní výpomocné dodávky ze sousedních REAS. Konkrétně se jedná o sousední REAS, kterou provozuje společnost EON. Ve schématu je tato oblast znázorněna žlutou barvou.

Nejprve je vypnuto vedení V560 v rozvodně HDLN a je zapnuto V555 v rozvodně PRJV. Vedení V560 je převedeno na přípojnici A v rozvodně HDLN a na tuto přípojnici jsou převedeny také všechny konzumní transformátory T101, T102 a T103. Dále jsou vypnuta vedení V551 a V552 v rozvodně DLUH. Vedení V551 je zapnuto v rozvodně CHRO a V552 v rozvodně HULN. Dále vedení V551 a V552 v rozvodně DLUH jsou přepojena na přípojnici B. Na přípojnici B jsou zapojena vedení V5679 a V5680, která vedou od rozvodny PRST a jsou přepojeny konzumní transformátory T101, T102 a T103, přičemž transformátor T101 je odpojen a neodebírá elektrickou energii. Tato část zásobované oblasti je znázorněna ve schématu žlutou barvou.

Další část oblasti bude zásobována z uzlové oblasti KRA, která je ve schématu znázorněna tmavě modrou barvou. Nejprve jsou vypnuta vedení V577 a V578 v rozvodně PRN. V rozvodně CERV jsou spojeny přípojnice A a B příčným spínačem přípojníc.

Poslední část, která je postižena výpadkem, je ve schématu znázorněna modrou barvou. V rozvodně HRNE jsou spojeny přípojnice A a B příčným spínačem přípojníc, a tím je dosaženo zapojení konzumních transformátorů T101, T102 a T103. Transformátor T401 v rozvodně NOS je zatížen na 60 % a také zatížení vedení je vyhovující.

V rozvodně LIS na přípojnici C1, která je napájena z transformátoru T202, jsou převedeny v rozvodně VMEZ konzumní transformátory T101 a T102 na přípojnici A. Dále na tuto přípojnici je připojena rozvodna DEZA, což je provedeno přepojením vedení V569. Na přípojnici B v rozvodně VMEZ jsou přepnuta i vedení V575 a V576, která napájí rozvodnu VSTN.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku přenosové soustavy v rozvodně PRN je v příloze č. 15.

7.4.4. Vyhodnocení modelů havarijního zálohování

Tab. 7.7 Zatížení vedení – výpadek rozvodny PRN

č. vedení	Zatížení vedení											Vybavovací proud ochrany
	I _{max}	Stávající		Výpadek T201 PRN bez odlehčení zátěže		Výpadek T201 PRN s odlehčením zátěže		Výpadek T202 PRN s odlehčením zátěže		Výpadek přenosové soustavy		
				(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	
V581	505	17	86	17	86	13	66	13	66	0	0	910
V582	505	17	86	17	86	13	66	13	66	0	0	910
V584	505	25	126	26	131	13	66	13	66	2	10	910
V570	505	5	25	5	25	8	40	8	40	20	101	910
V583	505	3	15	3	15	3	15	3	15	3	15	910
V553	530	34	180	35	186	20	106	20	106	2	11	960
V554	530	34	180	35	186	20	106	20	106	2	11	960
V560	455	14	64	15	68	14	64	14	64	48	218	1090
V555	455	0	0	0	0	0	0	0	0	54	246	635
V551	455	8	36	8	36	8	36	8	36	32	146	820
V552	400	3	12	3	12	3	12	3	12	34	136	820
V5679	530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	728
V5680	530	11	58	11	58	11	58	11	58	11	58	728
V571	505	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	910
V585a	505	2	10	2	10	14	71	14	71	33	167	1090
V585b	505	16	81	16	81	0	0	0	0	19	96	1090
V586a	505	3	15	3	15	31	157	31	157	38	192	1090
V586b	505	27	136	28	141	0	0	0	0	8	40	1090
V572	505	14	71	14	71	32	162	32	162	43	217	1090
V587	505	38	192	38	192	65	328	65	328	82	414	910
V588	505	34	172	34	172	52	263	52	263	63	318	910
V591	455	40	182	39	177	52	237	52	237	59	268	728
V592	455	39	177	40	182	51	232	51	232	59	268	728
V593	680	29	197	29	197	38	258	38	258	44	299	1080
V594	680	29	197	29	197	38	258	38	258	44	299	1080
V577	820	30	246	31	254	20	164	20	164	0	0	1080
V578	820	30	246	31	254	20	164	20	164	0	0	1080
V651	505	35	177	35	177	53	268	53	268	54	273	546
V652	505	39	197	39	197	57	288	57	288	58	293	546
V614	530	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	825
V615	530	32	170	32	170	46	244	46	244	46	244	825
V616	530	32	170	32	170	46	244	46	244	46	244	825
V637a	920	26	239	26	239	36	331	36	331	36	331	1440
V637b	820	29	238	29	238	40	328	40	328	41	336	1480
V638a	920	24	221	24	221	34	313	34	313	34	313	1440
V638b	820	35	287	35	287	46	377	46	377	47	385	1480
V647	505	24	121	24	121	31	157	31	157	31	157	1090
V648	505	13	66	13	66	20	101	20	101	20	101	910
V640	530	16	85	16	85	13	69	13	69	14	74	-

Tab. 7.8 Zatížení transformátorů – výpadek rozvodny PRN

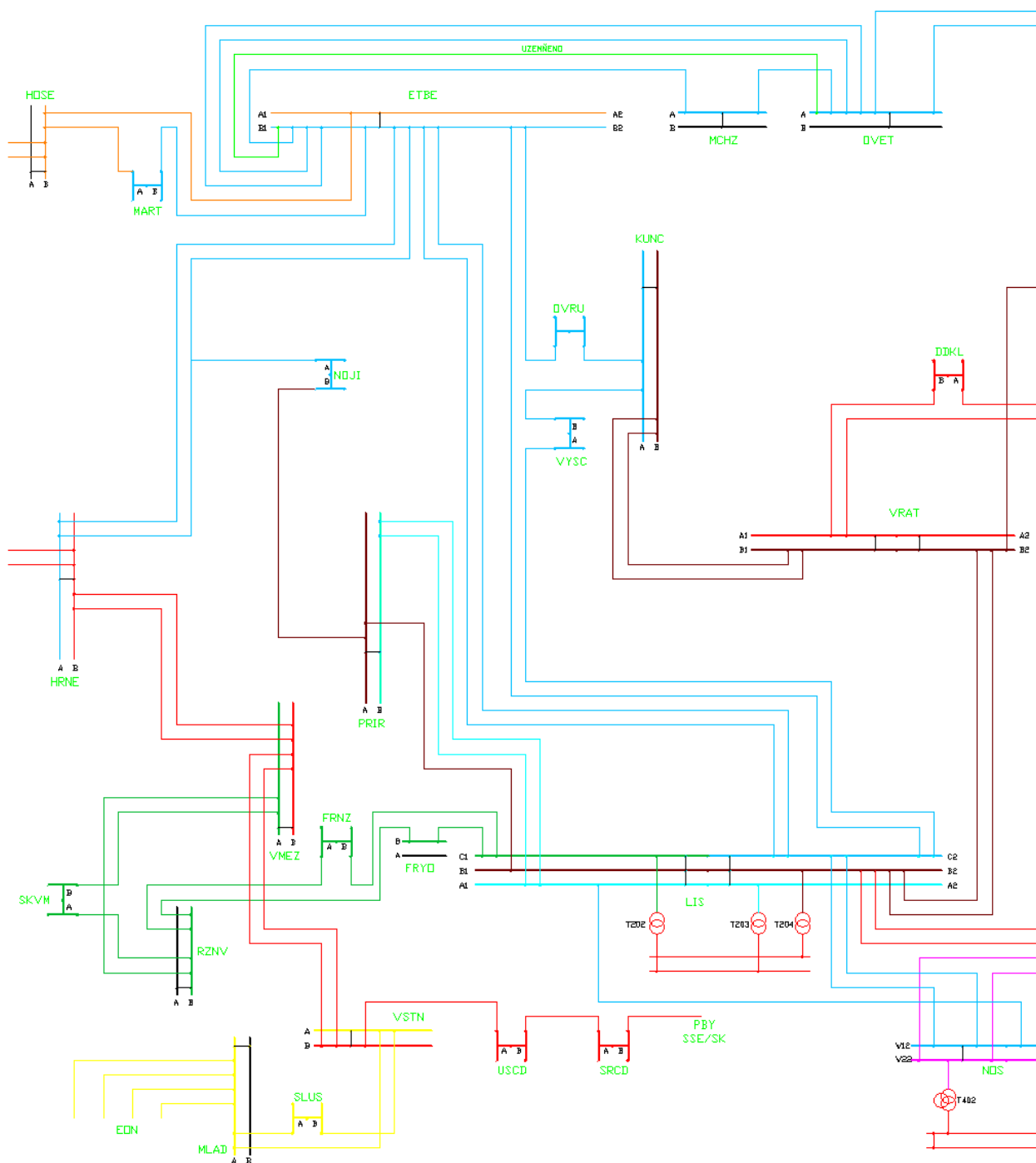
Rozvodna	č. TR	Zatížení transformátorů										
		S _n	Stávající		Výpadek T201 PRN bez odlehčení zátěže		Výpadek T201 PRN s odlehčením zátěže		Výpadek T202 PRN s odlehčením zátěže		Výpadek přenosové soustavy	
					(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)
PRN	T201	200	60	120	0	0	0	0	80	160	0	0
PRN	T202	200	60	120	123	246	80	160	0	0	0	0
KRA	T401	350	22	77	22	77	29	102	29	102	33	116
KRA	T402	350	24	84	24	84	31	109	31	109	35	123
KRA	T403	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIS	T202	200	40	80	40	80	40	80	40	80	77	154
LIS	T203	200	41	82	41	82	41	82	41	82	41	82
LIS	T204	200	52	104	52	104	52	104	52	104	52	104
NOS	T401	250	44	110	44	110	60	150	60	150	60	150
NOS	T402	250	30	75	30	75	30	75	30	75	30	75

V rozvodně PRN jsou přenosové transformátory T201 a T202 provozovány paralelně. Při výpadku jednoho z transformátoru nedojde k výpadku elektrické energie a zatížení přebere druhý transformátor, avšak pokud nebude provedeno odlehčení zátěže, bude tento transformátor přetěžován. Je nutno provést odlehčení zatížení a to tak, že rozvodna OLCS je přepojena na uzlovou oblast KRA a v rozvodně HRNE jsou převedeny transformátory T101 a T103 na rozvodnu NOS.

V případě výpadku přenosové soustavy v oblasti rozvodny PRN je nutno postiženou oblast napájet z jiných uzlových oblastí. Pro část oblasti je využito standardní výpomocné dodávky ze sousední REAS, kterou provozuje společnost EON. Další části poškozené oblasti budou napájeny z rozvodu KRA, LIS a NOS.

7.5. Výpadek rozvodny Lískovec

V rozvodně Lískovec jsou tři transformátory 220/110 kV (T202, T203 a T204). Přenosový transformátor T202 zásobuje oblast, která je zapojena na přípojnici C1, ve schématu je oblast znázorněna zelenou barvou. Transformátor T203 zásobuje oblast, která je zapojena na přípojnici A, ve schématu je oblast znázorněna tyrkysovou barvou. Transformátor T204 zásobuje oblast, která je zapojena na přípojnici B, ve schématu je oblast znázorněna hnědou barvou. Na přípojnici C2 je přivedena elektrická energie z transformátoru T401, který je v rozvodně NOS. Pro určení havarijního zálohování sítě 110 kV vycházím ze zimního měření, které bylo provedeno 21.1.2011 v 17 hodin.



Obr. 7.6 Schéma oblasti napájené z rozvodny LIS – stávající stav

7.5.1. Výpadek transformátoru T202

Při výpadku transformátoru T202 je sepnut příčný spínač přípojnic, a tím jsou spojeny přípojnice C1 a A. Zatížení přebere transformátor T203, který bude zatěžován na 82 % z původního zatížení 41 %.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T202 v rozvodně LIS je v příloze č. 16.

7.5.2. Výpadek transformátoru T203

Při výpadku transformátoru T203 je sepnut příčný spínač přípojnic, a tím jsou spojeny přípojnice C1 a A. Zatížení přebere transformátor T202, který bude zatěžován na 82 % z původního zatížení 40 %.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T203 v rozvodně LIS je v příloze č. 17.

7.5.3. Výpadek transformátoru T204

Při výpadku transformátoru T204 je sepnut příčný spínač přípojnic, a tím jsou spojeny přípojnice C1 a B. Zatížení přebere transformátor T202, který bude zatěžován na 93 % z původního zatížení 40 %.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T204 v rozvodně LIS je v příloze č. 18.

7.5.4. Výpadek přenosové soustavy v oblasti LIS

Při výpadku přenosové soustavy 220 kV je nutno nejprve vypnout transformátory na straně 110 kV, aby nedošlo k toku výkonu do přenosové soustavy.

Při výpadku přenosové soustavy nedojde k výpadku výroby elektrické energie z dalších zdrojů. V případě, že by bloky elektrárny Dětmorovice č.1 a č.2 byly v provozu, došlo by k přerušení dodávek elektrické energie z těchto bloků.

Nejprve je zapnuto vedení V699 v rozvodně LIS a tímto vedením je napájena přípojnice A. Toto vedení přivádí elektrickou energii na přípojnici A z transformátoru T402, který je rozvodně LIS. Dále je nutno převést vedení V641 a V642 na přípojnici A v rozvodně LIS. Tato dvě vedení je nutno převést na přípojnici A z toho důvodu, protože kdyby byly v provozu bloky elektrárny Dětmorovice č.1 a č.2, dodávaly by do stejné oblasti. V našem konkrétním případě jsou oba bloky mimo provoz. Popsaná oblast v tomto odstavci je znázorněna v modelu růžovou barvou.

Druhá část je v modelu znázorněna modrou barvou. Nejprve je sepnut příčný spínač přípojnic, a tím je docíleno spojení přípojnic C2 a B v rozvodně LIS. Vedení V649 a V650 jsou převedena na přípojnici B. Pokud by nebylo provedeno odlehčení zatížení, byl by přetěžován transformátor T401 v rozvodně NOS. Odlehčení je popsáno v následujícím odstavci.

Již zmiňované odlehčení je provedeno sepnutím příčného spínače přípojnic v rozvodně VMEZ, a tím jsou spojeny přípojnice A a B. Následně jsou vypnuta vedení V5619 a V5620 v rozvodně RZNV. Tato popsaná odlehčená oblast bude napájena z rozvodny PRN.

V posledním kroku je přepnuta odbočka na transformátoru T402 v rozvodně NOS z odbočky 15 na 10. Změna odbočky je provedena z důvodu zvýšení napětí na přípojnici W2.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku přenosové soustavy v rozvodně LIS je v příloze č. 19.

7.5.5. Vyhodnocení modelů havarijního zálohování

Tab. 7.9 Zatížení vedení – výpadek rozvodny LIS

č. vedení	Zatížení vedení											Vybavovací proud ochrany
	I _{max}	Stávající		Výpadek T202 LIS		Výpadek T203 LIS		Výpadek T204 LIS		Výpadek přenosové soustavy		
		(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	
V699	1350	0	0	0	0	0	0	0	0	48	648	2190
V637a	920	26	239	26	239	26	239	26	239	49	451	1440
V637b	820	29	238	29	238	29	238	29	238	55	451	1480
V638a	920	24	221	24	221	24	221	24	221	47	432	1440
V638b	820	35	287	35	287	35	287	35	287	61	500	1480
V641	820	18	148	18	148	18	148	18	148	18	148	1480
V642	820	18	148	18	148	18	148	18	148	18	148	1480
V692	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2500
V614	530	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	825
V615	530	32	170	32	170	32	170	32	170	32	170	825
V616	530	32	170	32	170	32	170	32	170	32	170	825
V647	505	24	121	24	121	24	121	24	121	25	126	1090
V649	530	40	212	40	212	40	212	42	223	18	95	1090
V650	530	32	170	32	170	32	170	33	175	15	80	1090
V5619	530	22	117	22	117	23	122	23	122	1	5	1090
V5620	530	18	95	18	95	18	95	18	95	0	0	1090
V563	530	4	21	4	21	4	21	4	21	14	74	1090
V564	530	2	11	2	11	2	11	2	11	21	111	950
V5665	530	2	11	2	11	2	11	2	11	20	106	950
V561	455	36	164	36	164	36	164	36	164	60	273	810
V562	455	36	164	36	164	36	164	36	164	60	273	810
V577	820	30	246	30	246	30	246	30	246	44	361	1080
V578	820	30	246	30	246	30	246	30	246	44	361	1080

Tab. 7.10 Zatížení transformátorů – výpadek rozvodny LIS

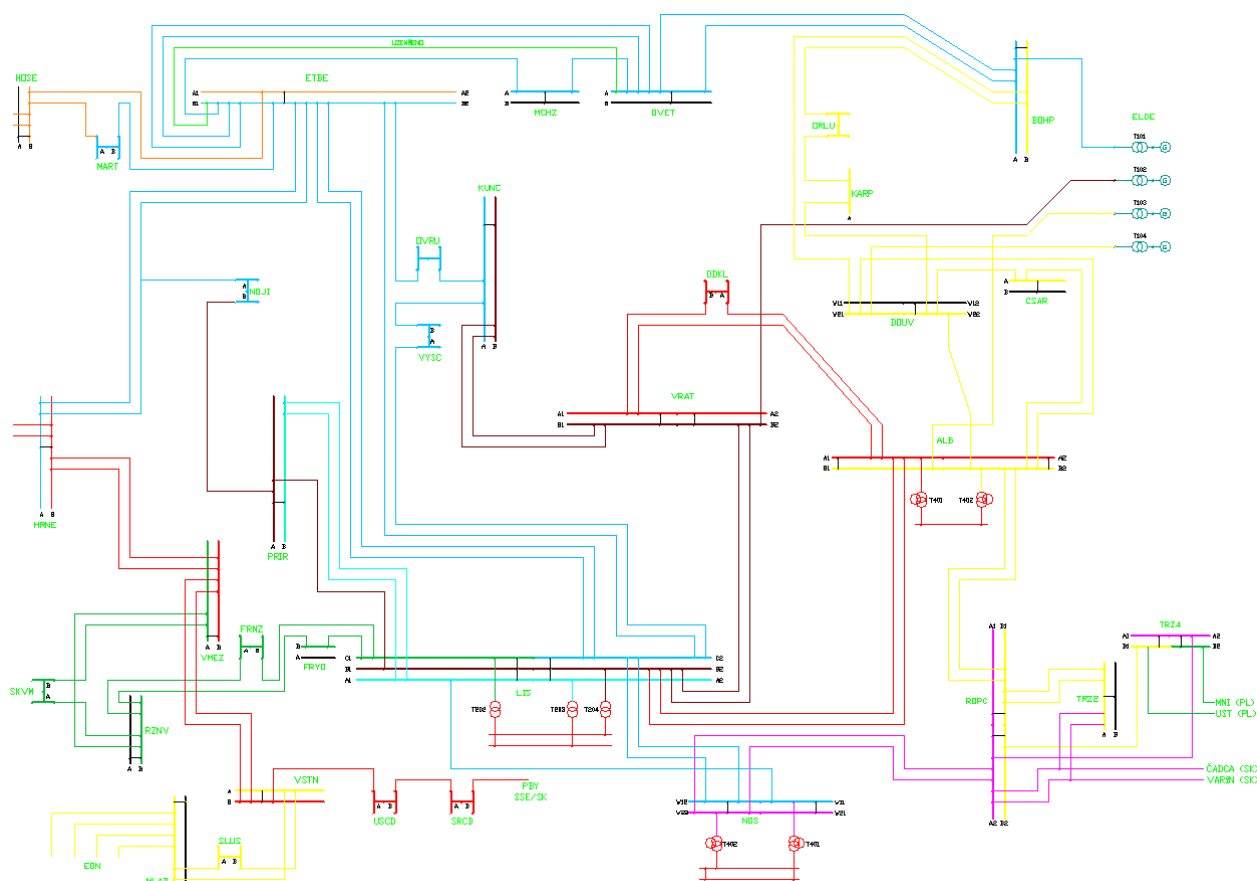
Rozvodna	č. TR	Zatížení transformátorů										
		S _n	Stávající		Výpadek T202 LIS		Výpadek T203 LIS		Výpadek T204 LIS		Výpadek přenosové soustavy	
			(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)
LIS	T202	200	40	80	0	0	82	164	93	186	0	0
LIS	T203	200	41	82	82	164	0	0	41	82	0	0
LIS	T204	200	52	104	52	104	52	104	0	0	0	0
NOS	T401	250	44	110	44	110	44	110	44	110	80	200
NOS	T402	250	30	75	30	75	30	75	30	75	82	205
PRN	T201	200	60	120	60	120	60	120	60	120	72	144
PRN	T202	200	60	120	60	120	60	120	60	120	71	142

Pokud dojde k výpadku jednoho z transformátoru T202, T203 nebo T204 je poškozená oblast zásobována z jiného přenosového transformátoru.

V případě výpadku přenosové soustavy v oblasti rozvodny LIS je nutno postiženou oblast napájet z jiných uzlových oblastí. Postižená oblast je napájena z uzlových oblastí LIS a PRN. Podrobnější popis je uveden v kapitole 7.5.4.

7.6. Výpadek rozvodny Nošovice

V rozvodně Nošovice jsou dva transformátory 400/110 kV (T401 a T402). Z této rozvodny jsou napojeny dvě oblasti, z nichž každá oblast je připojena na jednu přípojnici. Přenosový transformátor T401 napájí oblast, která je znázorněna modrou barvou a přenosový transformátor T402 napájí oblast, která je znázorněna růžovou barvou. Pro určení havarijního zálohování sítě 110 kV vycházím ze zimního měření, které bylo provedeno 21.1.2011 v 17 hodin.



Obr. 7.7 Schéma oblasti napájené z rozvodny NOS – stávající stav

7.6.1. Výpadek transformátoru T401

Při výpadku transformátoru T401 dojde k výpadku generátorů TG15, TG16 a TG33 v elektrárně Třebovice.

Pokud by byl sepnut příčný spínač přípojníc, a tím spojeny přípojnice W1 a W2, byl by transformátor T402 přetěžován, proto je nutné provést odlehčení sítě, které je popsáno v dalších odstavcích a teprve potom sepnout příčný spínač přípojníc.

Nejprve jsou vypnuta vedení V651 a V652 v rozvodně ETBE. V rozvodně HRNE je sepnut příčný spínač přípojníc, a tím spojeny přípojnice A a B. Tímto krokem je dosaženo toho, že oblast mezi rozvodnami ETBE a HRNE bude napájena z uzlové oblasti PRN.

V rozvodně MART je zapnuto vedení V683 a dále v rozvodně ETBE je připojeno vedení V681 na přípojnici A.

Následně je třeba přerušit přeshraniční dodávky elektrické energie na úrovni vvn. Tyto dodávky jsou přerušeny v rozvodnách Čadca a Varín.

V posledním kroku je přepnuta odbočka na transformátoru T402 v rozvodně NOS z odbočky 15 na 12. Změna odbočky je provedena z důvodu zvýšení napětí na přípojnicích W1 a W2. Zatížení transformátoru T402 v rozvodně NOS se zvýší na 89 % z původního zatížení 30 %.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T401 v rozvodně NOS je v příloze č. 20.

7.6.2. Výpadek transformátoru T402

Při výpadku transformátoru T402 dojde k výpadku generátorů v Třineckých železárnách. V modelu sítě je tohoto výpadku docíleno přepsáním bilance výkonu. Výroba generátorů v Třineckých železárnách je 33 MW, proto je původní hodnota činného výkonu v bilanci uzlu, která byla $P = -1$ MW, přepsána na hodnotu $P = 32$ MW. Bilance výkonu jsou uvedeny v tabulce č. 6.1.

Je sepnut příčný spínač přípojníc, a tím jsou spojeny přípojnice A a B. Zatížení přebere transformátor T401, který bude zatěžován na 88 % z původního zatížení 44 %.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku transformátoru T402 v rozvodně NOS je v příloze č. 21.

7.6.3. Výpadek přenosové soustavy v oblasti NOS

Při výpadku přenosové soustavy 400 kV dojde k výpadku generátorů TG15, TG16 a TG33 v elektrárně Třebovice a výpadku generátorů v Třineckých železárnách. V modelu sítě výpadku generátorů v Třineckých železárnách je docíleno přepsáním bilance výkonu. Výroba

generátorů v Třineckých železárnách je 33 MW, proto je původní hodnota činného výkonu v bilanci uzlu, která byla $P = -1$ MW, přepsána na hodnotu $P = 32$ MW. Generátory v elektrárně Třebovice jsou vypnuty v modelu na přípojnicí.

V rozvodně MART je zapnuto vedení V683 a dále v rozvodně ETBE je přepojeno vedení V681 na přípojnicí A.

Jsou vypnuta vedení V651 a V652 v rozvodně ETBE a následně sepnut příčný spínač přípojníc v rozvodně HRNE.

Konzumní transformátory T101 a T102 v rozvodně LIS jsou přepojeny z přípojnice B na přípojnicí A, která je napájena z transformátoru T203. Vedení V617 a V608 jsou převedena z přípojnice B na přípojnicí C1 v rozvodně LIS. Dále v této rozvodně jsou převedena vedení V659 a V660 z přípojnice A na přípojnicí C1. Vedení V637 a V638 jsou vypnuta v rozvodně LIS. Přenosový transformátor T204 je přepojen z přípojnice B na přípojnicí C2.

Sepnutím příčného spínače přípojníc v rozvodně ROPC jsou spojeny přípojnice A a B. Následným zapnutím příčného spínače přípojníc v rozvodně NOS jsou spojeny přípojnice W1 a W2.

Schéma distribuční sítě 110 kV při výpadku přenosové soustavy v rozvodně NOS je v příloze č. 22.

7.6.4. Vyhodnocení modelů havarijního zálohování

Tab. 7.11 Zatížení vedení – výpadek rozvodny NOS

č. vedení	Zatížení vedení									Vybavovací proud ochrany
	I _{max}	Stávající		Výpadek T401 NOS		Výpadek T402 NOS		Výpadek přenosové soustavy		
(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(A)	
V699	1350	0	0	0	0	0	0	0	0	2190
V5691	455	30	137	24	109	48	218	18	82	820
V5692	455	30	137	24	109	48	218	18	82	820
V603a	455	28	127	14	64	28	127	29	132	820
V603c	455	14	64	2	9	14	64	14	64	724
V604a	455	33	150	2	9	33	150	33	150	820
V604c	455	33	150	1	5	33	150	33	150	546
V661	710	5	36	5	36	5	36	5	36	1060
V662	710	4	28	22	156	23	163	23	163	1060
V663	455	6	27	6	27	6	27	6	27	540
V664	455	6	27	6	27	6	27	6	27	540
V601	820	13	107	13	107	13	107	49	402	1080
V602	820	13	107	13	107	13	107	49	402	1080
V637a	920	26	239	40	368	26	239	0	0	1440
V637b	820	29	238	44	361	29	238	0	0	1480
V638a	920	24	221	38	350	24	221	0	0	1440
V638b	820	35	287	50	410	35	287	9	74	1480
V614	530	1	5	1	5	1	5	1	5	825
V615	530	32	170	51	270	32	170	50	265	825
V616	530	32	170	51	270	32	170	50	265	825
V647	505	24	121	34	172	24	121	33	167	1090
V648	505	13	66	23	116	13	66	22	111	910
V640	530	16	85	10	53	16	85	10	53	-
V651	505	35	177	1	5	35	177	1	5	546
V652	505	39	197	1	5	39	197	1	5	546
V681	455	16	73	2	9	16	73	2	9	765
V633	820	10	82	10	82	10	82	10	82	1320
V634	820	10	82	10	82	10	82	10	82	1350
V5641	400	0	0	0	0	0	0	0	0	420
V5642	530	15	80	15	80	15	80	15	80	850
V631	820	0	0	0	0	0	0	0	0	1270
V632	820	0	0	0	0	0	0	0	0	1440
V691	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	2270

Tab. 7.12 Zatížení transformátorů – výpadek rozvodny NOS

Rozvodna	č. TR	Zatížení transformátorů								
		S _n	Stávající		Výpadek T401 NOS		Výpadek T402 NOS		Výpadek přenosové soustavy	
		(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)	(%)	(MVA)
NOS	T401	250	44	110	0	0	88	220	0	0
NOS	T402	250	30	75	89	223	0	0	0	0
LIS	T202	200	40	80	40	80	40	80	79	158
LIS	T203	200	41	82	41	82	41	82	56	112
LIS	T204	200	52	104	52	104	52	104	74	148
ALB	T401	250	27	68	27	68	27	68	27	68
ALB	T402	250	19	48	19	48	19	48	49	123
HZI	T401	250	37	93	37	93	37	93	37	93
HZI	T402	250	41	103	48	120	41	103	48	120

Při výpadku transformátoru T401 nelze postiženou oblast zásobovat z transformátoru T402, aniž by bylo provedeno odlehčení zátěže. Část zátěže je převedena na uzlovou oblast PRN a HZI. Dále jsou přerušeny přeshraniční dodávky elektrické energie na úrovni vvn v rozvodna Čadca a Varín. Pokud dojde k výpadku transformátoru T402, přebere zatížení druhý přenosový transformátor T401.

V případě výpadku přenosové soustavy v oblasti rozvodny NOS je nutno postiženou oblast napájet z jiných uzlových oblastí. Oblast postižena výpadkem je zásobována z uzlových oblastí LIS, ALB a HZI.

8. Závěr

V diplomové práci je proveden teoretický rozbor distribučních soustav. Jsou zde uvedeny paprskové radiální, okružní a mřížové sítě a jejich sestavení a jištění. Následně jsou popsány elektrické stanice, jejich členění, hlavní části a schémata.

V další kapitole je uveden současný stav sítí 110 kV ČEZu oblast Morava, která zahrnuje šest uzlových oblastí. Jsou to rozvodny: Horní Životice, Albrechtice, Krasíkov, Prosenice, Lískovec a Nošovice. V tabulce 3.2. jsou uvedeny technické informace o soustavě 110 kV. Dále zde jsou popsány jednotlivé rozvodny a jsou znázorněny na mapce na obrázku 3.1.

Modely distribuční sítě 110 kV jsou vytvořeny ve výpočtovém programu PAS Daisy, který pracuje na základě Newton - Raphsonovy iterační metody. Výpočty pro tyto modely jsou provedeny v ustáleném stavu. Při návrhu a následném vyhodnocování modelů byly stanoveny předpoklady, které jsou podrobně popsány v kapitole 6.2.

Cílem diplomové práce bylo vytvořit modely pro havarijní zálohování při výpadku konkrétních uzlů přenosové soustavy, vyhodnocení výpočtů a stanovení konkrétních závěrů. Pro každou uzlovou oblast bylo uvažováno s výpadkem jednoho přenosového transformátoru nebo s výpadkem přenosové soustavy v uvažované oblasti. Pro určení havarijního zálohování 110 kV vycházím ze zimního měření 2011, které bylo provedeno v 17 hodin. U každé uzlové oblasti je vždy zjednodušené schéma oblasti napájené z dané rozvodny 110 kV. Podrobná schémata s hodnotami toků činných a jalových výkonů, napětí na přípojnicích a zatížení transformátorů a vedení jsou v přílohách. V kapitole 7 jsem vždy uvedl podrobný popis manipulací, které je třeba provést, aby bylo docíleno napájení postižené oblasti. V tabulkách jsou uvedena zatížení vedení a transformátorů pro stávající bezporuchový stav a pro všechny uvažované havarijní stavy, které byly vypočteny programem PAS Daisy. Z výsledků vyplývá, že modely havarijního zálohování byly vytvořeny tak, aby nebyly přetěžovány transformátory a vedení.

Použitá literatura

- [1] HODINKA, Miloslav.; FECKO, Štefan.; NĚMEČEK, František.: Přenos a rozvod elektrické energie. 1. vydání. Praha : SNTL, 1989. 328 s. DT 621.315.05+621.316(075.8).
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk. Elektroenergetika. 1. vydání. Ostrava: VŠB Ostrava, 1992, 170 s. ISBN 80-7078-132-7.
- [3] HRADÍLEK, Zdeněk.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. 1. vydání. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2008. 210 s. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [4] HRADÍLEK, Zdeněk.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. Ostrava : MONTANEX a.s., 2008. 368 s. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [5] NĚMEČEK, František. Přenos a rozvod elektrické energie. 1. vydání. Praha: ČVUT Praha, 1983, 224 s. č.publikace 4706.
- [6] REISS, Ladislav.; MALÝ, Karel.; PAVLÍČEK, Zdeněk.: Teoretická elektroenergetika I.. 1. vydání. Bratislava : SVTL, 1967. 340 s. DT 621.3.
- [7] RUSEK, Stanislav. *Materiály k předmětu Teoretická energetika*. Fakulta elektrotechniky a informatiky, katedra elektroenergetiky. VŠB – TU Ostrava.
- [8] SANTARIUS, Pavel.: Elektrické stanice a vedení. 2. vydání. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2002. 212 s. ISBN 80-248-0175-2.
- [9] Dokumentace ČEZ Distribuce, a.s.
- [10] Ceps.cz. Čeps, a.s. [online]. 2011 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/Udaje-o-PS.aspx>>
- [11] Daisy.cz. Výpočty elektrických sítí všech napěťových úrovní. [online]. 2012 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z WWW: < <http://www.daisy.cz> >

Přílohy

1. Schéma distribuční soustavy 110 kV – stávající stav
2. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T401 HZI
3. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T402 HZI
4. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek PS HZI (se zapojenými generátory)
5. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek PS HZI (bez zapojených generátorů)
6. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T401 ALB
7. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T402 ALB
8. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek PS ALB
9. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T401 KRA
10. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T402 KRA
11. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek PS KRA
12. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T201 PRN (bez odlehčení zátěže)
13. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T201 PRN (s odlehčením zátěže)
14. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T202 PRN (s odlehčením zátěže)
15. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek PS PRN
16. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T202 LIS
17. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T203 LIS
18. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T204 LIS
19. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek PS LIS
20. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T401 NOS
21. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek T402 NOS
22. Schéma distribuční soustavy 110 kV – výpadek PS NOS